

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y
prevención de caída de rocas en el by pass 759 NW,
zona Chisay, Compañía Minera Casapalca**

Pool Jefferson Chávez Jayo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de "[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Perú](#)"

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por su continua fuerza e inspiración por guiarme en cada paso de mi carrera universitaria.

A la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios y formarme como futuro profesional, a mis docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas por impartir sus conocimientos y experiencias en todos estos años de estudio.

Asimismo, a mi asesor el Ing. Oscar Canchucaya Gutarra que me apoyó incondicionalmente en el desarrollo de esta investigación. Para mis compañeros, que me han estado apoyando continuamente a lo largo de mi carrera universitaria, haciendo de este momento una experiencia inolvidable.

Por último, quiero agradecer a mis padres que me han apoyado sin cesar durante toda mi vida.

DEDICATORIA

En memoria de mi Padre, quien en vida fue Javier Chávez Sullcaray y mi linda madre Hermelinda Jayo Vallejos quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento y son partícipes de mis anhelados logros.

ASESOR

Ing. Óscar Canchucaya Gutarra

SUMARIO

El presente trabajo de investigación aborda la aplicación de hormigón proyectado seco como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, compañía minera Casapalca, en función del análisis de las propiedades físicas del *shotcrete* y cálculo de costos unitarios de sostenimiento.

La investigación tiene como meta principal, determinar la influencia de la aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caídas de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca, por lo tanto, se tiene como objetivos específicos: determinar cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca y determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.

Esto nos da como resultado la hipótesis general: la aplicación del *shotcrete* vía seca influye significativamente como aguante y para prevenir la caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca y entre las hipótesis específicas tenemos: el análisis de las propiedades físicas influyen positivamente en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca, además los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca son factibles y viables.

Se han establecido las condiciones geomecánicas de los macizos rocosos y sus correspondientes métodos de evaluación para utilizar G. S. I. Se realizó un análisis de las propiedades físicas del *shotcrete* para determinar su efectividad en el sostenimiento de la labor, finalmente se describe el proceso del lanzado de *shotcrete* vía seca.

El análisis de la obra y su posterior evaluación determinaron el tipo de soporte a utilizar, como principal alternativa de soporte se utilizó el hormigón proyectado. Se trata de una vía seca en la que el espesor y área de la construcción dependen de la construcción.

Palabras clave: caída de rocas, prevención, soporte, *shotcrete*, vía seca

ABSTRACT

This research work addresses the application of dry shotcrete as support and prevention of rock falls in the bypass 759 NW, Casapalca mining company, based on the analysis of the physical properties of shotcrete and calculation of unit costs of support.

The main goal of the research is to determine the influence of the application of dry shotcrete as a support and prevention of rock falls in the bypass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company, therefore, it has specific objectives: to determine How the analysis of the physical properties influences the effectiveness of the dry shotcrete launching as support and prevention of rock fall in the bypass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company and determine the feasibility of the unit costs of sustaining the shotcrete Dry route at bypass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company.

This gives us the general hypothesis: the application of dry shotcrete has a significant influence on resistance and to prevent rock fall in the bypass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company and among the specific hypotheses we have: the analysis of the Physical properties positively influence the effectiveness of dry shotcrete casting as support and prevention of rock falls in bypass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company, in addition to the unit costs of sustaining dry shotcrete in By Pass 759 NW, Chisay area, Casapalca mining company are feasible and viable.

The geomechanical conditions of the rock massifs and their corresponding evaluation methods have been established to use GSI. An analysis of the physical properties of the shotcrete was carried out to determine its effectiveness in sustaining the work, finally the process of the shotcrete launching via dry.

The analysis of the work and its subsequent evaluation determined the type of support to be used, as the main alternative of support was used shotcrete.

It is a dry road in which the thickness and area of the construction depend on the construction.

Keywords: dry route, prevention, rockfall, shotcrete, support

ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Asesor	iv
Sumario.....	v
Abstract	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xiii
Lista de tablas	xiv
Introducción.....	xv
CAPÍTULO I	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.1.2. Formulación del problema	18
1.2 Objetivos de la investigación	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación e importancia	19
1.3.1 Justificación metodológica.....	19
1.3.2. Justificación práctica	19
1.4. Limitaciones	19
1.4.1. Limitación tecnológica	19
1.4.2. Limitación económica.....	19
1.5. Hipótesis de la investigación.....	19
1.5.1. Hipótesis general.....	19
1.5.2. Hipótesis específicas.....	19
1.6. Identificación de variables.....	20
1.6.1. Variable independiente.....	20
1.6.2. Variable dependiente	20
1.7. Matriz de operacionalización de la variables	20
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21

2.1. Antecedentes del problema	21
2.2. Generalidades de la unidad minera Casapalca S. A.....	24
2.2.1. Ubicación.....	24
2.2.2. Accesibilidad	25
2.2.3. Clima y vegetación	26
2.3. Geología	26
2.3.1. Geología regional	26
2.3.2. Geología local	28
2.3.3. Geología estructural.....	29
2.3.4. Geología económica	30
2.3.5. Mineralogía.....	31
2.3.6. Método de explotación	32
2.4. Bases teóricas	33
2.4.1. Geomecánica aplicada al minado subterráneo	33
2.4.2. Propiedades de las discontinuidades	34
2.4.3. Shotcrete	34
2.4.4. Resistencia a la compresión (σ_c)	34
2.4.5. Control de Slump.....	35
2.4.6. Estudio granulométrico de los áridos	38
2.4.7. Cálculo de cubos lanzados en una labor.....	41
2.4.8. Sostenimiento en las minas subterráneas.....	42
2.4.9. Aplicación del shotcrete	42
2.5. Definición de términos básicos	43
CAPÍTULO III	47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3. 1. Método y alcances de la investigación.....	47
3.1.1. Método de la investigación	47
3.2 Diseño de la investigación	47
3.2.1. Tipo de la investigación	47
3.2.2. Nivel de la investigación	48
3.3. Población y muestra	48
3.3.1. Población.....	48
3.3.2. Muestra	48
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48

3.4.1. Técnicas ejecutadas en la recolección de datos	48
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	48
CAPÍTULO IV.....	49
ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso	49
4.1.1. Caracterización geomecánica del By Pass 759 NW	49
4.1.2. Análisis y cálculo del RQD	50
4.1.3. Cálculo del RMR según la Clasificación Geomecánica de Bieniaswski.....	51
4.1.4. Determinación del tipo de sostenimiento según la cartilla geomecánica GSI - Casapalca	54
4.2. Aplicación del tipo de sostenimiento: shotcrete vía seca	55
4.2.1. Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca.....	57
4.2.2. Secuencia del lanzado de shotcrete vía seca	57
4.2.3. Control de calidad del shotcrete	57
4.2.4. Propiedades del shotcrete vía seca	58
4.2.5. Requerimiento de la capa de shotcrete	59
4.2.6. Procesos del shotcrete	59
4.2.7. Materiales para el shotcrete por vía seca.....	61
4.2.8. Clasificación del shotcrete.....	62
4.3. Shotcrete vía húmeda.....	62
4.3.1. Proceso de aplicación del shotcrete vía húmeda	62
4.3.2. Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda	63
4.3.3. Costos unitarios de sostenimiento con shotcrete de 2"	63
4.3.4. Cálculo de costos de sostenimiento con shotcrete vía seca en el By Pass 759 NW	63
CAPÍTULO V.....	66
RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	66
5.1. Resultados y análisis de la investigación	66
5.2. Resistencia a la rotura	67
5.3. Método de ensayo con pistola Hilti	67
5.4. Ensayos y resultados.....	69
5.5. Clasificación del shotcrete.....	70
5.6. Desperdicio de shotcrete (efecto rebote)	70

5.7. Factores para evitar el efecto rebote	70
5.8. Aditivo acelerante de fragua	71
5.9. Tiempo de lanzado de shotcrete	72
5.10. Costos de lanzado de shotcrete	72
5.11. Prueba de hipótesis	73
5.11.1. Validación de la hipótesis 1.....	73
5.11.2. Validación de la hipótesis 2.....	74
5.11.3. Validación de la hipótesis 3.....	74
5.12. Discusión de resultados.....	74
Conclusiones.....	76
Recomendaciones.....	78
Referencias	79
Anexos	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de compañía minera Casapalca.	25
Figura 2. Plano geológico estructural..	30
Figura 3. Método de explotación Sub level Stopping.	33
Figura 4. Cono de Abrams	35
Figura 5. Procedimiento de prueba de hormigón	37
Figura 6. (a) muestras de áridos, (b) tamices, (c) máquina de tamizado	38
Figura 7. Curva granulométrica.	40
Figura 8. Abertura del Tamiz.	41
Figura 9. Cartilla geomecánica GSI.....	54
Figura 10. Aplicación de shotcrete vía seca	56
Figura 11. Rango de hidratación de fraguado.	59
Figura 12. Método de ensayo con pistola Hilti.....	68
Figura 13. Clasificación del shotcrete.....	70
Figura 14. Plano topográfico del By Pass 759 NW – zona Chisay	81
Figura 15. Mapeo geomecánico del By Pass 759 NW	90
Figura 16. Máquina aliva de sostenimiento	90
Figura 17. Toma de muestra de shotcrete por vía seca	91
Figura 18. Preparado de muestra en la bandeja	91
Figura 19. Muestra de shotcrete.....	91
Figura 20. Mezcla de arena, cemento y dramix.....	92
Figura 21. Sostenimiento del By Pass 759 NW	92
Figura 22. Método de ensayo con pistola Hilti DX 450	93
Figura 23. Ensayo con pistola Hilti DX 450	93
Figura 24. Resistencias a la compresión (en MPa) del shotcrete in situ	94
Figura 25. Lecturas de la longitud saliente del clavo - NVS (en milímetros) y la carga de extracción de este con un equipo Pull-Test.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables	20
Tabla 2. Rutas de accesibilidad a la compañía minera Casapalca	26
Tabla 3. Consistencia del hormigón	37
Tabla 4. Método de compactación	37
Tabla 5. Tamices de hormigón	39
Tabla 6. Análisis granulométrico de una arena	40
Tabla 7. Medición 1	49
Tabla 8. Medición 2	50
Tabla 9. Índice de calidad según Palmstrom.....	50
Tabla 10. Cálculo del RMR en la Medición 1.....	51
Tabla 11. Cálculo del RMR en la Medición 2.....	52
Tabla 12. Sostenimiento en la Medición 1	54
Tabla 13. Sostenimiento en la Medición 2.....	55
Tabla 14. Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca	57
Tabla 15. Ensayos de resistencia a la tracción	58
Tabla 16. Requerimiento de la capa de shotcrete	59
Tabla 17. Cinco tipos de cemento según calor de hidratación	60
Tabla 18. Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda	63
Tabla 19. Costos unitarios de sostenimiento.....	63
Tabla 20. Cálculo de costos	65
Tabla 21. Dosificación por m ³ de la mezcla de shotcrete	66
Tabla 22. Especificación de los materiales	66
Tabla 23. Cálculo de materiales para lanzado de 66 cubos de shotcrete	67
Tabla 24. Resistencia a la rotura.....	67
Tabla 25. Ensayo de resistencia	69
Tabla 26. Característica del aditivo Haa MacFree Plus	72
Tabla 27. Prueba de tiempo de vertido de shotcrete.....	72
Tabla 28. Costo de materiales mixtos	72
Tabla 29. Precio unitario de lanzado de shotcrete 2"	73
Tabla 30. Costos de sostenimiento	74
Tabla 31. PETS – sostenimiento con shotcrete.....	89

INTRODUCCIÓN

La presente tesis, denominada “Aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca”, tiene su fundamento en la inestabilidad del macizo rocoso y constante desprendimiento de rocas presentando así condiciones desfavorables de trabajo.

Por tanto, en el Capítulo I se plantea el problema de los objetivos de la investigación, incluyendo la generalidad y la particularidad. Demostrar la racionalidad e importancia de la encuesta, y concretar supuestos generales y específicos; de igual forma, encontraremos las variables desarrolladas durante la encuesta.

En el Capítulo II se estableció un marco teórico, se introdujeron en detalle los precedentes anteriores al levantamiento y se describió la situación general de la mina (accesibilidad, ubicación, topografía, clima, relieve, etc.). Introducir en detalle la geología local y regional, la geomecánica de las minas, desarrollar la base teórica y finalmente definir términos que son de gran utilidad para el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo III se desarrolló el método de investigación, se introdujo en detalle el tipo y nivel de investigación, se especificó el diseño de la investigación, se definió la investigación por la población y la muestra, y finalmente se determinaron las herramientas de recolección de datos.

En el Capítulo IV se desarrolla el análisis e interpretación del resultado de la aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, análisis de las propiedades físicas del *shotcrete*, evaluación geomecánica del macizo rocoso según la clasificación geomecánica de Bieniawski; finalmente se determinó el costo unitario de sostenimiento de la labor a sostener.

Por último, se describen las conclusiones y recomendaciones de la investigación, se adjuntan en los anexos los planos del *By Pass* 759 NW y evidencias de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

La compañía minera Casapalca S. A. es una de las minas con mayor índice de accidentabilidad, y su principal problema radica en los accidentes por caída de rocas, asimismo, este problema se presenta debido a la inestabilidad del macizo rocoso, esfuerzos verticales y horizontales en la excavación, método de explotación ineficientes, estándares inadecuados de perforación y voladura y la presencia de agua subterránea.

En la presente investigación se propone aplicar el sostenimiento con *shotcrete* por vía seca a fin de evitar todo tipo de accidentes por caída de rocas que en la actualidad son muy frecuentes en la compañía minera Casapalca S. A., asimismo, se realizó un análisis de las propiedades físicas del *shotcrete* con el objetivo de lograr la efectividad en el lanzado, finalmente se calcularon los costos unitarios de sostenimiento del área a sostener.

En la actualidad se tienen problemas de inestabilidad del macizo rocoso debido a la aplicación del método de explotación *Sub level stoping*, por lo que se hizo una evaluación geomecánica a detalle del área a sostener con el objetivo de prevenir los accidentes por caída de rocas que durante los últimos 15 años continúan generando pérdidas de vidas humanas en la mina.

El *shotcrete* por vía seca es el sostenimiento óptimo que actualmente aplica la compañía minera Casapalca S. A., asimismo, aún no optan por el lanzado de *shotcrete* por vía húmeda por un tema de reducción de costos en la operación, resultándoles la otra alternativa más rentable.

1.1.2. Formulación del problema

El problema principal y los problemas específicos son:

Problema general

- ¿Cuál es la influencia de la aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca?

Problemas específicos

- ¿Cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca?
- ¿Será factible determinar los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la aplicación del *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.
- Determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1 Justificación metodológica

La presente tesis se justifica metodológicamente porque el investigador hace uso de metodologías propias para el desarrollo de la presente investigación, asimismo, recolecta datos, procesa y complementa la investigación que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

1.3.2. Justificación práctica

La presente tesis se justifica en la parte práctica, ya que la investigación está orientada a la resolución de problemas que aquejan a la compañía minera.

1.4. Limitaciones

1.4.1. Limitación tecnológica

Por falta de tecnología no se pudo emplear equipos para realizar pruebas triaxiales al concreto.

1.4.2. Limitación económica

Por el costo elevado de las pruebas se desarrollaron solo las pruebas en 5 probetas a fin de determinar la resistencia del concreto.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación del *shotcrete* vía seca influye significativamente como soporte y prevención de caídas de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El análisis de las propiedades físicas influye positivamente en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.
- Los costos unitarios de sostenimiento del *shotcrete* vía seca en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca son factibles y viables.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable independiente

- Aplicación del *shotcrete* vía seca

1.6.2. Variable dependiente

- Soporte y prevención de caída de rocas

1.7. Matriz de operacionalización de las variables

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	Indicadores
VI <ul style="list-style-type: none">▪ Aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca	El <i>shotcrete</i> vía seca es la proyección de <i>shotcrete</i> en la cual se premezclan los materiales secos y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido, el agua es aplicada en la boquilla. En este método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.	<ul style="list-style-type: none">▪ Nivel de Adherencia▪ Efecto rebote de lanzado▪ Resistencia a la tracción▪ Tiempo de lanzado de <i>shotcrete</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ MPa▪ m▪ h/m▪ %
VD <ul style="list-style-type: none">• Soporte y prevención de caída de rocas	Son diseños de sostenimiento para estabilizar la masa rocosa mediante el control del colapso progresivo o deformación de esta con el objetivo de brindar una condición de trabajo seguro.	<ul style="list-style-type: none">▪ Costos operativos▪ Costos directos▪ Costos indirectos	<ul style="list-style-type: none">▪ Evaluación geomecánica▪ RQD▪ RMR▪ GSI

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Como antecedente de este problema, existen los siguientes estudios

- a) Según Lopez, en su investigación titulada *“Aplicación del shotcrete vía seca como prevención de caída de rocas en minera Orión S. A. C.”*, quien tiene como objetivo general desarrollar el sistema de sostenimiento con concreto lanzado vía seca como una opción en la prevención de caída de rocas en las distintas labores subterráneas de la minera aurífera Orión, Además de estudiar el comportamiento topográfico del hormigón proyectado seco según el tipo de macizo rocoso circundante, la conclusión final es: “La aplicación del *shotcrete* vía seca en mina Orión se realiza según el tipo de macizo rocoso circundante. En el caso del hormigón proyectado, la diferencia entre las propiedades del hormigón fresco y el hormigón endurecido es particularmente pronunciada. Este hecho reduce la calidad del hormigón proyectado fabricado por el método húmedo. A diferencia del método seco, el método seco puede mantener estas características durante mucho tiempo (tiempo de fraguado). Asimismo, la tecnología de proyección del hormigón por el método húmedo ha sido altamente desarrollada. Puede lograr una producción duradera y de alta calidad. (1)

b) Según Sandoval, en su tesis titulada “*Estudio geomecánico para un óptimo diseño de la excavación y sostenimiento, mina Yauricocha S. A.*”, quien tiene por objetivo general determinar las características geomecánicas que posee el macizo rocoso de la mina Yauricocha – sociedad minera Corona S. A. El pozo de cimentación se puede diseñar y proporcionar un soporte estable suficiente, y también se pueden determinar las propiedades físicas y químicas de la roca de la mina Yauricocha – sociedad minera Corona S. A. Puede realizar la excavación de diseño 4 y tener suficiente apoyo estable. Finalmente, concluyó que existe una gran cantidad de discontinuidades aleatorias en toda el área de estudio, lo que refleja la alta fractura del macizo rocoso. También concluyó que, desde todos los ángulos la existencia el agua es perjudicial para las condiciones estables de las operaciones mineras, por lo tanto, lo que se observó en la escena fue obvio. Las áreas con mayor contenido de agua en la mina son más inestables que las áreas con menos agua. En la falla de Yauricocha, el agua tiene un efecto muy adverso en la estabilidad de la mina (pozo de exploración subterránea), y finalmente se concluye que el método de minería se está "hundiendo". En este sentido, por un lado, se deben realizar esfuerzos para mejorar las condiciones de estabilidad de las operaciones mineras y, por otro lado, mejorar los diferentes parámetros de los métodos mineros, reduciendo costos y aumentando la productividad. El control de aguas subterráneas proviene de puntos de entrada de piedra caliza, intrusivos, filtraciones a través de la misma zona de subsidencia, agua connata, mapa freático; por lo tanto, se tomarán algunas o todas las medidas de control para reducir la presión hidrostática en cualquier tipo de roca cercana al tipo de minería actual o futuro impacto de la sociedad minera Corona S. A. (2)

c) Según Córdova, en su investigación titulada “*Geomecánica en el minado subterráneo, caso mina Condestable*”, su propósito es asegurar que los trabajos de excavación, relacionados con la minería en prioridad 1, cuenten con condiciones de estabilidad suficientes para sustentar su diseño, planificación y operación, lo que contribuirá a mejorar los estándares de seguridad y eficiencia de las operaciones mineras. Un programa de geomecánica eficaz debe estar guiado por el establecimiento de un plan de

minería coherente y establecer estándares para diferentes parámetros geomecánicos relacionados con la minería. Los componentes del plan de geomecánica incluyen: características del sitio, formulación del modelo de mina, análisis de diseño, monitoreo del desempeño de la roca y análisis retrospectivo. En este plan, es muy importante preparar información geomecánica básica para el análisis del diseño. También concluye que brinda suficientes opciones de minería para controlar la estabilidad de la cavidad existente, especialmente si el tamaño es mayor como parte de las actividades mineras pasadas. Para restaurar las reservas minerales remanentes en esta área, por lo que, la conclusión es que la zonificación geomecánica del macizo rocoso indica que el dominio estructural está relacionado con el tipo de roca. Según esta norma se han establecido cuatro regiones o dominios geomecánicos: Dominio A conformado por lava andesítica, Dominio B conformado por pórfido dacítico andesítico, Dominio C por tufos y Dominio D por brechas. Las características de calidad de estas áreas corresponden a las características de calidad de los tipos de rocas que las componen, y tienen en cuenta la geometría del tajo, la estructura de la estructura y el posible mecanismo de falla del macizo rocoso alrededor del tajo del macizo rocoso, sus características de resistencia y la influencia de la tensión. Básicamente se analiza la estabilidad controlada por la disposición estructural del macizo rocoso y la estabilidad controlada por la tensión. Además, se analiza la posibilidad de hundimiento del macizo rocoso en la cavidad central más crítica del área de evaluación. (3)

- d) Según Espinoza, en su investigación titulada *“Sostenimiento mecanizado en labores mineras, en la compañía de minas Volcan S. A. A – unidad de producción Andaychagua”*, su propósito es implementar el soporte mecanizado en todas las reducciones de obra y producción, y determinar los procedimientos adecuados para desarrollar el soporte mecanizado para proyectos en trabajo minero. De la mina Andaychagua, finalmente, se concluye que el método utilizado permite cuantificar e identificar con mayor precisión el macizo rocoso. Esto permite conocer el tipo de roca que se está excavando. Para el diseño de la excavación, además del tiempo de exposición de la excavación, también se debe considerar el tipo de roca y sus parámetros

mecánicos. En cuanto a la comparación de costos, el soporte mecánico es más conveniente en algunos casos, pero la calidad de instalación del soporte activo y pasivo es mejor, finalmente concluyó que el soporte mecánico es conveniente, pero necesario en algunos casos. Dado que no se permite el soporte mecánico en áreas bajo ciertas condiciones, se requieren soportes semimecánicos y convencionales. Por lo tanto, las áreas geomecánicas deben ser mapeadas y clasificadas en los momentos adecuados para tomar decisiones que eviten caídas en forma de cuña y prevenir accidentes a tiempo.

(4)

- e) Según Matamoros, en su investigación titulada “Mejoramiento del sostenimiento con *shotcrete* de labores permanentes con equipo robotizado en Cuerpo Esperanza - compañía minera Casapalca S. A.”, quien tuvo como meta bajar los costos de sostenimiento con la implementación de *shotcrete* en labores permanentes en el Cuerpo Esperanza compañía minera Casapalca S. A. – 2018 y elevar la resistencia del sostenimiento con el empleo de *shotcrete* en labores permanentes en el Cuerpo Esperanza compañía minera Casapalca S. A. – 2018, en la que llegó a la conclusión que, al usar hormigón proyectado en tareas permanentes, se pueden reducir los costos de sostenimiento en S/ Hay 17,806 soles por metro cúbico de hormigón lanzado mediante el método húmedo, y el costo del hormigón lanzado mediante el método seco es de S/ 817,376 soles por metro cúbico lanzado en el frente de excavación subterránea e ineficiente cumpliendo con el 84% del plan mensual y el soporte con hormigón lanzado mediante el método húmedo cuesta S/ 800.57 soles por metro cubico. (5)

2.2. Generalidades de la unidad minera Casapalca S. A.

2.2.1. Ubicación

La unidad minera Casapalca está ubicada en la sierra de Lima del Perú, a 128 kilómetros de la ciudad de Lima y a 4200 metros sobre el nivel del mar. Según las reservas minerales, *Mery Body Unit* se encuentra a 115 kilómetros de la Carretera Central.

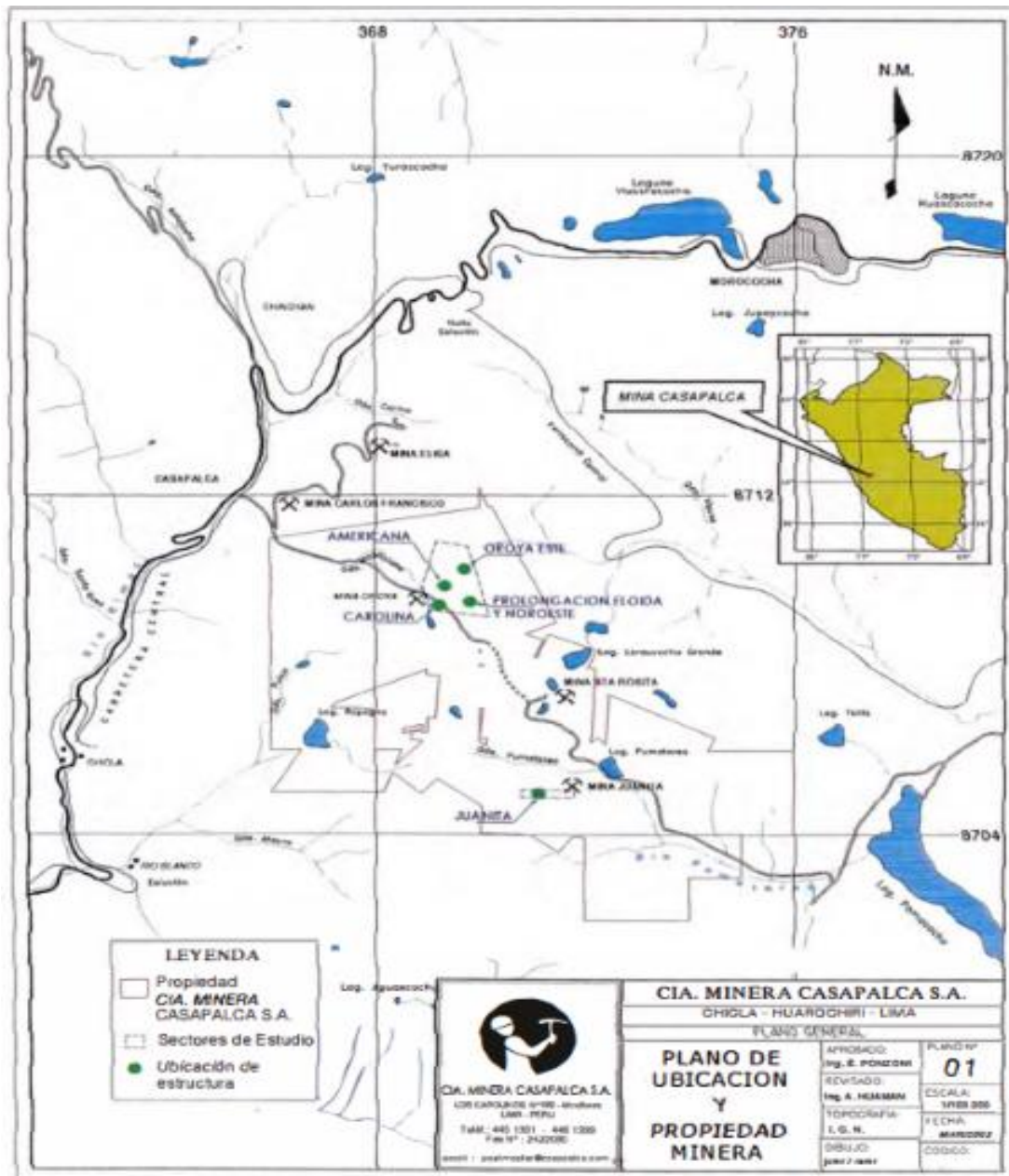


Figura 1. Mapa de localización de compañía minera Casapalca. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

2.2.2. Accesibilidad

Existen dos vías en la mina Casapalca, que le permiten llegar al campamento minero:

- Ruta Lima-Casapalca con 128 kilómetros de camino asfaltado, el tiempo de conducción es de 3 horas.
- La carretera asfaltada Huancayo-La Oroya-Casapalca son 100 kilómetros en tres horas. A partir de este punto (autopista Casapalca), hay un camino de

terracería que sigue la quebrada del Carmen hacia el sureste. Este lleva a la compañía minera Casapalca S. A.

Tabla 2.

Rutas de accesibilidad a la compañía minera Casapalca

Ruta 1	Distancia	Ruta 2	Distancia
Lima - Casapalca	128 km	Huancayo - La Oroya	65 km
		La Oroya - Casapalca	35 km
Tiempo promedio	3 horas	Tiempo promedio	3 horas

Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

2.2.3. Clima y vegetación

El clima de Casapalca es frío, ya que se ubica en la región natural Puna, el cual es seco y frío todo el año, además tiene dos climas diferentes:

- La época de lluvias de enero a marzo se caracteriza por una temperatura alta de 10 °C y fuertes lluvias, y la nevada es de 0 °C.
- El resto del año es un clima casi seco, con poca lluvia, y los cambios de temperatura van de 10° y, menos de 0°, lo que ocurre en la temperatura más baja de junio a agosto. Tiene una vegetación única, *ichu*, en los parajes de la unidad Mery Corps.

2.3. Geología

2.3.1. Geología regional

Las condiciones geológicas del área de estudio se definen claramente de la siguiente manera:

- Formación Goyllarisquisga:** son reconocidas como las rocas más antiguas de la región, compuestas por cuarcita blanca de grano fino con intercalación y manto de carbón. Sus afloramientos solo se encontraron en los arroyos Huayamay o Carboneyacu cerca de la entrada al túnel Gratton.
- Formación Machay:** es consistente con la formación Goyllarisquisga, compuesta de caliza gris clara (también llamada caliza Jumasha). También crecen cerca del túnel Gratton.

- c) Formación Bellavista:** la formación Bellavista está compuesta por una serie de tobas volcánicas y calizas grises. En la capa inferior de la mina Casapalca se encontró una capa de anhidrita intercalada con pizarra.
- d) Formación río Blanco:** la formación río Blanco consiste en una serie de tufos cuidadosamente estratificadas, consistentes con la formación Bellavista. El volcán río Blanco debe ser una de las rocas más jóvenes del Perú.
- e) Formación Casapalca:** aflora en el norte y sur del campamento Carmen, es la estructura más antigua de afloramientos de la zona y forma un amplio anticlinal de Casapalca cortado por el río Rímac. La formación consta de una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental, divididas en dos partes:
- **Miembro Capas Rojas:** estas características se deben a la difusión de hematita en las montañas rocosas de la formación Casapalca, y la lutita roja intercalada y la arenisca calcárea.
 - **Formación Carmen:** cubriendo la capa roja hay una serie de envolturas de conglomerado y piedra caliza, salpicadas por una capa de arenisca, lutita, toba y agregados volcánicos, con potencias que van de 80 a 200 m.
- f) Volcánico Carlos Francisco:** tiene un afloramiento en la zona este del campamento Carmen, que está formado por rocas volcánicas inconsistentes sobre la formación Casapalca. La formación se divide en:
- **Volcánicos Tablachaca:** se caracteriza por rocas volcánicas de pórfido rojo grisáceo de tipo andino.
 - **Volcánicos Carlos Francisco:** se caracteriza por ser roca volcánica afaníticas de los Andes, principalmente gris.
- g) Tufos Yauliyacu:** son tufos volcánicos de color rojizo intenso, ubicadas sobre el miembro Carlos Francisco.

- h) Formación Bellavista:** las unidades estratigráficas que afloran en el campamento Carmen S y SE, se caracterizan por rocas calcáreas de color gris-marrón a negro (calizas, margas) ubicadas desigualmente sobre los estratos de Carlos Francisco.
- i) Depósitos Cuaternarios:** en la zona de Casapalca hay variedades de depósitos y escombros glaciares de formación actual. Ellos son: Pleistoceno, bajo los depósitos glaciares recientes, hay una serie de poderosas lluvias terminales de hielo a una altitud de aproximadamente 4300 a 4500 m s. n. m. La más reciente: está formada por el material de consolidación de varios tamaños de piedras angulares trituradas, formando conos y taludes.

2.3.2. Geología local

Las formaciones geológicas locales del área de estudio son:

- a) Volcánico Carlos Francisco:** está compuesto por corrientes andinas y fragmentos de brechas (como cuarzo e hipocalcita), y además posee minerales como: (ganga, esfalerita, pirita, galena, tetraedro y mena) mediante relleno de grietas y vetas formadas por cristales superficiales de calcita y clorita.
- b) Formación Carmen – Aguas Calientes:** se forman, en la capa roja, depósitos de carbonato y cuarzo, y se utilizan como mineral de esfalerita, galena y tetraedro (pirita).
- c) Tipo Corina:** poca ganga, esfalerita y jamesonita.
- d) Tipo Americana:** carbonato clivables como el carbonato de carbón. Tetraedro, esfalerita y una pequeña cantidad de galena y pirita. Se ubican al este de la mina principal (mina Oroya).
- e) Tipo Yauliyacu:** las formaciones Yauliyacu, Bellavista y río Blanco se encuentran a 4 kilómetros al sur de la mina principal.

f) Tipo Chisay: los minerales de mena son: vetillas, calcopirita, bornita y tetraedrita en vetas y disseminaciones; junto con la que se encuentra localizada la malaquita. Los principales minerales de la ganga son: dolomita, calcita, la rodocrosita y la barita, y son escasos en número. La roca circundante es "Carlos Francisco", una roca volcánica de pórfido ampliamente distribuida (3 a 4 kilómetros) en los Estados Unidos.

2.3.3. Geología estructural

Múltiples movimientos durante el movimiento tectónico andino formaron el entramado estructural que existía en esta zona, abusando de estas grandes y débiles áreas anteriormente formadas, la actividad magmática en el Mioceno tardío ha producido 32 minerales ácidos formadores de minerales. El sistema de tensiones generado durante los ciclos tectónicos andinos del Terciario y Pleistoceno en el centro de Perú, especialmente en las regiones de San Cristóbal, Casapalca, y Morococha, formó un conjunto de fracturas, pliegues y fallas como parte del extenso sistema estructural constituido. Es importante recalcar que estas estructuras dirimen sobre la ubicación de intrusiones y la mineralización de vetas. (5)

a) Anticlinales – Sinclinales: el más importante es el gran sinclinal Aguascocha - Pumatarea, que tiene dirección NW-SE y puede tener hasta 9 km de longitud. Controla toda el área de Casapalca, seguida por el anticlinal de Casapalca de 2 km de longitud. Su eje es paralelo a la diagonal y el anticlinal de Antupuquio es de 1 km. El eje es paralelo al eje de la línea de sincronización. Debido a la mineralización en estas estructuras, este plegamiento controla todas las fallas y rupturas transversales al eje diagonal, que es la estructura principal. (5)

b) Fallas – Fracturas: la estructura más importante del área minera de Casapalca es una falla perpendicular al eje sinclinal Pumatarea-Aguascocha, la falla está en dirección N-S, llena de solución hidrotermal, y en algunos casos también se utiliza como tubería para la circulación de la solución. Los errores y rompimientos se controlan según la capacidad de la roca circundante. Por ejemplo, la lutita de la familia Casapalca permiten una fuerte alteración y

fracturación, respectivamente. En algunos casos, cuando la roca es desfavorable solo se puede observar pequeñas grietas en las rocas de los miembros Tablachaca, la familia rio Blanco y la familia Bellavista. (5)

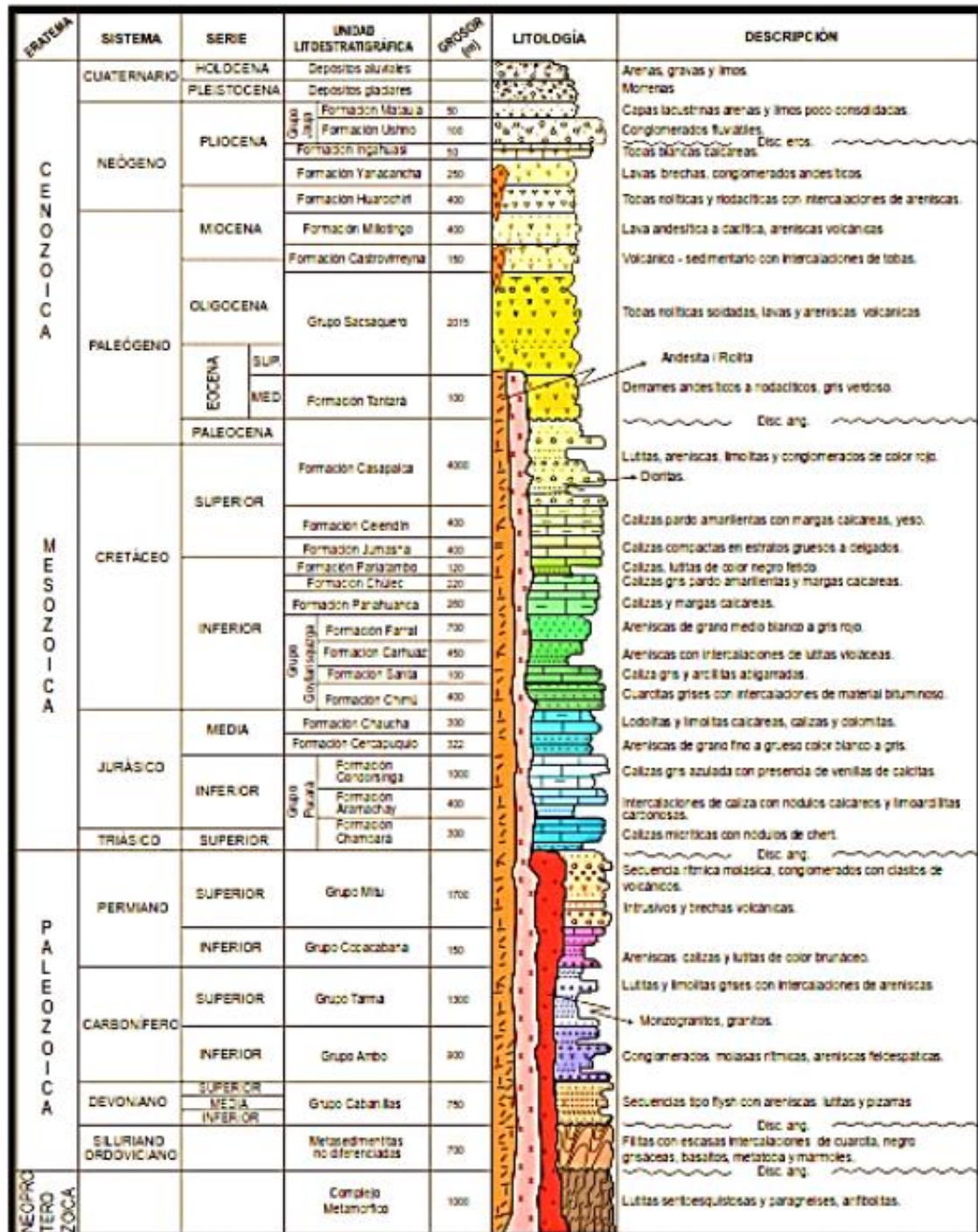


Figura 2. Plano geológico estructural. Tomada del Departamento de Geología – compañía minera Casapalca S. A.

2.3.4. Geología económica

El mineral de Casapalca es un yacimiento polimetálico. Sus yacimientos se encuentran en vetas y cuerpos minerales. Tiene características mineralógicas

simples. Los principales minerales son: esfalerita, galena, tetraédrica / wurthita, calcopirita, pirita, cuarzo, calcita y rodocrosita. Las vetas se localizan en todas las secuencias litológicas, las más importantes son: Oroya, Oroya Piso, Ana María, Carolina, Chisay, Americana, Carla, Esperanza, Mariana, Mercedes, San Antonio, Reynaldo, Alejandro, Juanita y Juanita Sur; estas vetas cuentan con lazos cimoidales y ramales presentes en la veta Tensional, Oroya, Esperanza Piso, Escondida, rama Techo Juanita y rama Split Techo Juanita.

Los cuerpos mineralizados son sedimentos formados por el relleno de cavidades y el desplazamiento metasomático, tienen formas irregulares en la arenisca y conglomerado de la formación Casapalca. Los cuerpos mineralizados reconocidos hasta el momento son: Mery, Emilia, Micaela, Sofía, Esperanza, Esperanza Piso, Sorpresa, Chiara, Vera, Negrita, Vivian, Patty, Escondida y Carmen. La alteración hidrotermal fue de bajo grado, la alteración propilítica consiste mayormente de epidotización, piritización, calcificación y silicificación. (5)

2.3.5. Mineralogía

La mineralogía está constituida por galena, esfalerita, tetraedrita y calcopirita, como minerales de mena de mayor abundancia; Los minerales pétreos están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo, con una superficie de 5180 hectáreas, el método de extracción se realiza en vetas subterráneas. Presenta dos tipos de mineralización, a saber, zona venosa y zona corporal. La secuencia estratigráfica del área minera de Casapalca muestra que la edad de las rocas sedimentarias varía desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Estas rocas están fuertemente plegadas para formar varias estructuras, de las cuales el anticlinal de Casapalca es el más prominente, con su eje paralelo a la estructura general de los Andes. La mineralización ocurre en vetas repletas de fracturas que atraviesan el área y la secuencia estratigráfica de cuerpos mineralizados ubicados principalmente en la formación Casapalca. La mineralización muestra una distribución regional obvia, que es más prominente en la dirección horizontal que en la dirección vertical. (5)

2.3.6. Método de explotación

La forma de explotación empleada en la compañía minera Casapalca es el *Sub level Stopping* esto hace posible realizar perforaciones radiales hacia arriba y hacia abajo, bajo un techo seguro durante los trabajos de excavación para este propósito. Con la información obtenida del sólido, se determinó la ubicación de la superficie libre, y luego se comenzó a cavar una chimenea alineada verticalmente de 1.8 m x 1.8 m en el extremo de la cámara. En el caso de socavación, se construyó una chimenea manual ascendente, que es la actividad más crítica. Para la capa inferior superior se construye una chimenea ascendente y un tipo VCR en el piso para mantener la comunicación con la superficie libre del corte inferior. Una variante del diseño de Casapalca incluye el doble uso de cortes inferiores. En una primera etapa es el subnivel de perforación, y luego es la ventana de extracción, porque es el lugar donde caen los minerales descargados de la capa superior, y por lo tanto el lugar donde se realiza la extracción de minerales. Partiendo del lado libre, la sensación de explotación se está reduciendo. La particularidad de este sistema es que, en primer lugar, se ensancha la chimenea para generar un embudo de escorrentía a través de las perforaciones escalonadas en la capa superior, de manera que cuando se expulsa el orificio de retirada, los escombros se depositan en el embudo generado originalmente. Esto se puede lograr abriendo la superficie libre y realizando un chorro de arena "escalonado" en los orificios del nivel inferior. Cuando la superficie libre está abierta, el corte inferior se utiliza como ventana de extracción y como objeto receptor hasta que se agote el mineral de la capa superior. (5)

Debido a que el operador y el equipo de carga de pozo largo se colocaron debajo del techo y el piso de roca sólida, la voladura a gran escala se llevó a cabo al aire libre. Es controlado por el supervisor y el mismo operador todos los días, y el departamento geológico realiza inspecciones geomecánicas de rutina. Una vez que se abre la superficie libre de la superficie de corte inferior, solo se chorrea la capa superior hasta que se completa el punzonado de dicho sector. Como control operativo, el plan de monitoreo del alto horno y el informe de extracción de mineral se conservarán para mantener el equilibrio del mineral triturado entre la cámara de procesamiento y el mineral extraído. (5)

Una vez terminada la explotación del nivel superior, se realizan voladuras en retirada en el corte inferior de los taladros perforados al techo que sirvieron de protección al operador del *scooptram*.

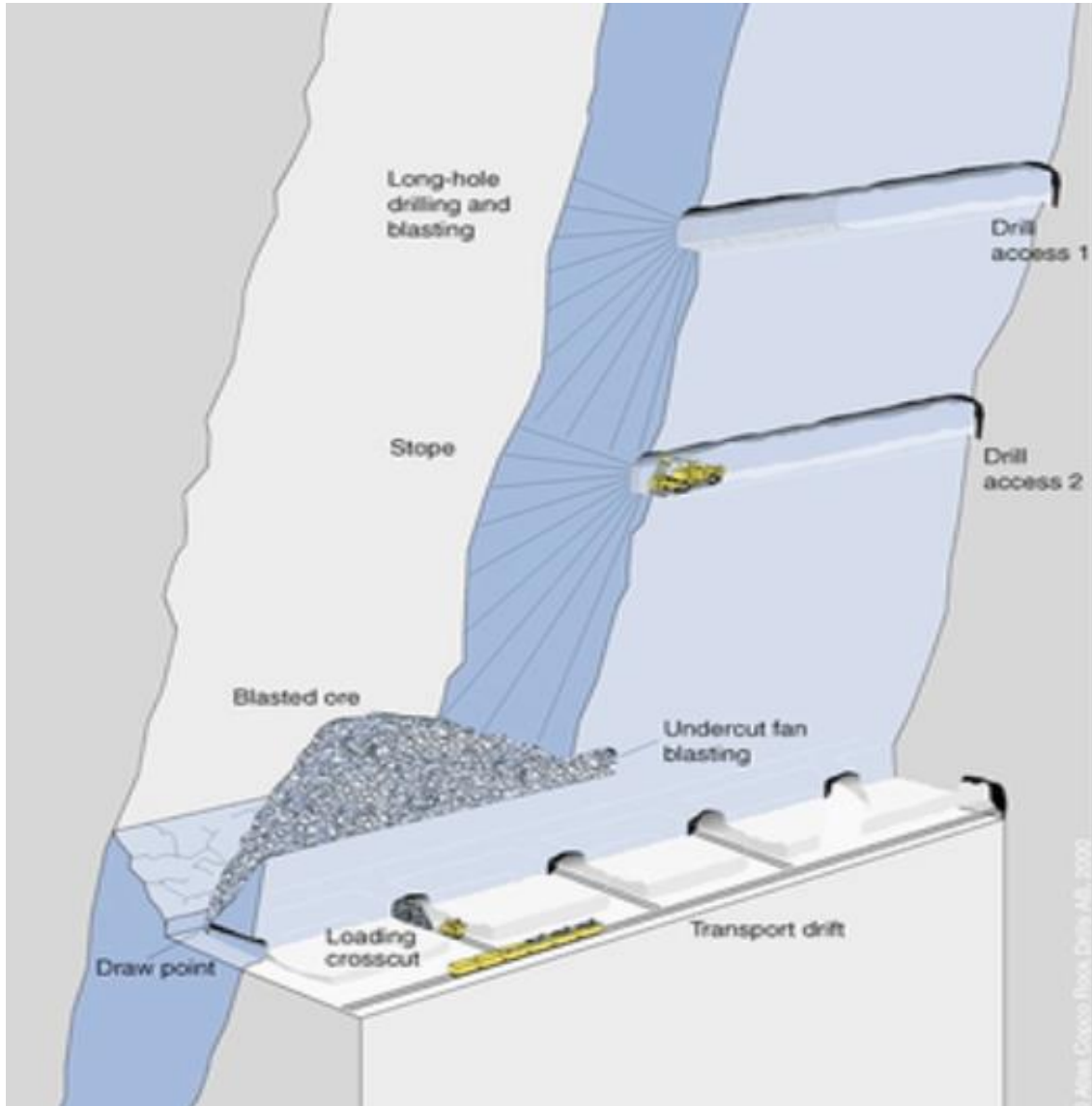


Figura 3. Método de explotación Sub level Stopping. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

2.4. Bases teóricas

2.4.1. Geomecánica aplicada al minado subterráneo

La geomecánica forma la base para la conceptualización de las ganancias económicas con un rango estrecho de vida económica y ganancias de seguridad, lo que origina inconvenientes en el diseño y puede determinar qué manera de soporte se utilizará. (5)

2.4.2. Propiedades de las discontinuidades

En términos de discontinuidades, generalmente están representadas por la gran cantidad de discontinuidades encontradas en diversas operaciones mineras y el comportamiento de estos efectos de los estudios de colapso de rocas en los trabajos mineros. (5)

2.4.3. Shotcrete

El *shotcrete* es en realidad un colado *in situ*, se encarga de sostener los macizos rocosos, y su mezcla se encarga de rociar los paneles de los macizos rocosos afectados para brindar un cómodo soporte. Este material ha sido estudiado hace mucho tiempo. Es aceptado porque su superficie está completamente húmeda y también proporciona mejores condiciones para la minería porque es un buen apoyo. (5)

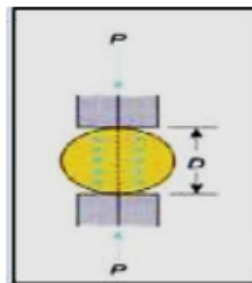
2.4.4. Resistencia a la compresión (σ_c)

Se considera uno de los atributos más influyentes en la manera de soporte por el *shotcrete*, también inspecciona la rotura por presión. Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sometida a compresión uniaxial.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

La resistencia a la compresión de la roca se puede determinar rápidamente en el frente de avance, lo que afecta la calidad de la roca.

$$= \frac{2P}{\pi LD} =$$



Donde:

P: una carga que produce una fractura

D: diámetro de la muestra

L: longitud de la probeta

El valor de σ_c de la matriz rocosa suele variar entre el 5% y el 10% del valor de la resistencia a la compresión simple.

2.4.5. Control de *Slump*

La consistencia del hormigón fresco a través de un cono de Abrams es una prueba muy sencilla y no requiere equipos ni profesionales costosos. Colocar el hormigón en un molde cónico de metal con una altura de 30 cm y un diámetro de 10 y 20 cm. Este procedimiento se describe en detalle en ASTM C143-78 "*Slump of Portland Cement Concrete*".

Materiales:

- Cono de Abrams
- Varilla de fierro liso de 5/8" y punta redondeada L=60 cm
- Medidor de metal
- Badilejo



Figura 4. Cono de Abrams

Procedimiento de prueba

1. Se coloca el cono sobre una superficie ligeramente húmeda. Se recomienda utilizar una placa de metal cuya superficie es unos centímetros más grande que el gran fondo del cono. Luego, se ubica la parte inferior del cono hacia abajo y se pisa la lengüeta inferior para que quede firmemente conectado.

Antes de llenar el molde, se debe humedecer el interior para evitar fricciones entre el hormigón y su superficie.

2. Dividir el cono en tres capas y llenarlo hasta $\frac{1}{3}$ de su volumen, luego compactar el hormigón con una barra de acero de 16 mm de diámetro, compactarlo con un golpe de 25 varillas y golpear el hormigón con el extremo esférico. El golpe debe distribuirse uniformemente por toda la superficie y la varilla debe penetrar el espesor de la capa.
3. Rellenar el cono con la segunda capa hasta que tenga aproximadamente $\frac{2}{3}$ de su volumen, y compactar con otros 25 golpes de la varilla, poniendo siempre las cabezas redondas en contacto con el hormigón y extendiéndolas uniformemente por toda la superficie. La capa compactada debe penetrar ligeramente en la capa inferior desde una profundidad de 2 a 3 cm, pero no tocar el fondo de la capa.
4. Llenar el volumen restante del cono agregando un "*top*" de concreto de color claro y compactar con un golpe de 25 varillas, las varillas deben penetrar ligeramente la segunda capa.
5. Usar una paleta de metal para eliminar el exceso de concreto de modo que el cono esté completamente lleno y enjuagado. Quitar el concreto que pueda caer alrededor del fondo del cono.
6. Retirar con cuidado el molde y levantar el molde verticalmente de manera continua, no soplar aire ni moverlo lateralmente para evitar cambiar la posición del hormigón.

Tabla 3.
Consistencia del hormigón

Consistencia en cono		Normativa europea	
Consistencia	Asentamiento en cm	Clase	Asentamiento en mm
Seca	0 a 2	S1	10 a 40
Plástica	3 a 5	S2	50 a 90
Blanda	6 a 9	S3	100 a 150
Fluida	10 a 15	S4	≥ 160
Líquida	≥16		

Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

Tabla 4.
Método de compactación

Consistencia del hormigón	Aspecto	Asentamiento (cm)	Método de compactación
A-1 Seca	Suelto y sin cohesión	1.0 – 4.5	Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas
A-2 Plástica	Levemente cohesivo	5.0 – 9.5	Vibración normal, varillado y apisonado
A-3 Blando	Levemente fluido	10 - 15	Vibración leve, varillado
A-4 Superfluidificado	Fluido	15.5 - 22	Muy leve y cuidadosa vibración, varillado

Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

7. Medición del asentamiento: colocar el cono de Abrams junto al hormigón formado y medir la diferencia de altura entre los dos. Si la superficie del cono de hormigón no es horizontal, debe medirse en el punto medio de la altura.

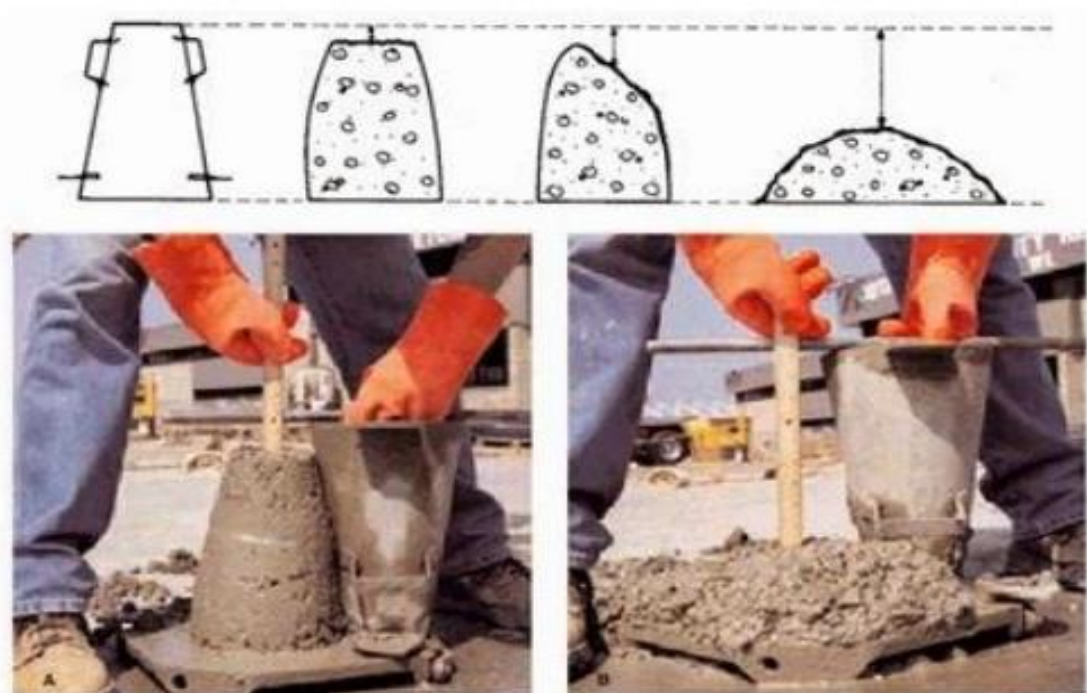


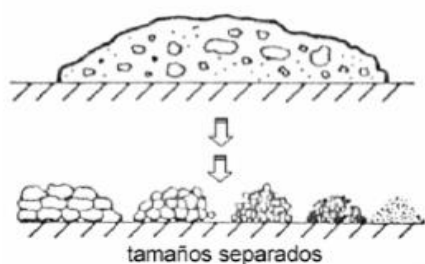
Figura 5. Procedimiento de prueba de hormigón

2.4.6. Estudio granulométrico de los áridos

El tamaño de partícula del agregado es uno de los parámetros más importantes para la cantidad de hormigón.

El análisis del tamaño de partícula del agregado incluye determinar la distribución de tamaño de las partículas que forman el agregado, es decir, separar el agregado en diferentes partes del mismo tamaño o dentro de un cierto rango de tamaños, y determinar el porcentaje de entrada en total (figura 6a).

Los áridos se tamizan mediante una serie de tamices normalizados que pueden corresponder a las siguientes series: *ISO Internacional*, *American Taylor*, *Británica BS* o *Española UNE* (figura 6b) y comprobar que el número permanece en cada uno de ellos. Colocar el tamiz en una tamizadora. (figura 6c).



(a)



(b)



(c)

Figura 6. (a) muestras de áridos, (b) tamices, (c) máquina de tamizado

Tabla 5.**Tamices de hormigón**

Serie de tamices para hormigón		
Norma UNE 7050 Abertura (mm)	N.º	Norma AST, C33-85 Abertura (mm)
80,00	3 in	76.2
40,00	1 ½ in	38.1
20,00	¾ in	19
10,00	3/8 in	9.5
5,00	4	4.75
2,50	8	2.36
1,25	16	1.18
0,63	30	0.600
0,31	50	0.300
0,16	100	0.150
0,08	200	0.075

El tamaño de partícula de arena y agregado grueso se determina de forma independiente al hacer una partícula para cada agregado utilizado en el concreto.

Antes del tamizado de áridos, se debe secar al aire para evitar (especialmente en el caso de los granos de arena) que sus granos se aglomeren por la humedad y sean retenidos por el tamiz, que tiene una abertura mayor que la correspondiente. El tamaño real de esos. El peso de la muestra tamizada es en función del tamaño máximo del agregado que forma la muestra.

La relación entre el peso retenido por cada tamiz en relación con el peso total de la muestra proporciona el porcentaje retenido por el tamiz. Sin embargo, con el fin de ajustar la curva de tamaño de partícula, se utiliza el porcentaje de retención acumulativa de cada tamiz. Si existen por encima de las aberturas más grandes, se retendrá el porcentaje de cada tamiz.

Al encontrar las diferencias a 100 en estos porcentajes de retención acumulados se obtienen los porcentajes acumulados, lo que indica que estos porcentajes no son el retenido por el tamiz, si no el puntaje total que pasa por el tamiz.

Tabla 6.
Análisis granulométrico de una arena

Tamiz luz (mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)		Pasa (%) Acumulado
		Parcial	Acumulado	
5,00	80	8,0	8,0	92,0
2,50	160	16,0	24,0	76,0
1,25	110	11,0	35,0	65,0
0,63	290	29,0	64,0	36,0
0,32	195	19,5	83,5	16,5
0,16	165	16,5	100,0	0,0

Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

Después de tamizar la muestra, los resultados obtenidos se muestran en un gráfico, donde el porcentaje acumulado de paso de cada tamiz se expresa en una escala decimal como ordenada, y la abscisa y una escala logarítmica se expresan con la misma apertura. El propósito de usar una escala logarítmica es que el espaciamiento entre diferentes tamices sea el mismo, pues como se muestra, la relación de estos tamices es una serie geométrica de 2, por lo que es conveniente expresar los granos de arena que son muy importantes para la curva de tamaño de partícula en el hormigón.

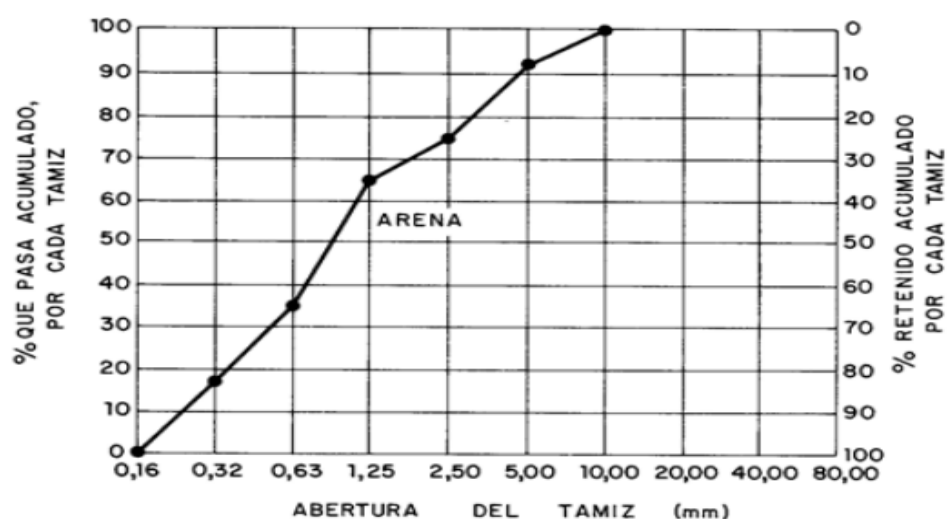


Figura 7. Curva granulométrica. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

Además de ser muy útil para la composición de diferentes agregados, la curva de tamaño de partícula también tiene la ventaja de identificar rápidamente

si el contenido de partículas gruesas o finas es demasiado o la distribución de tamaño es discontinua. Cuando el agregado tiene todos los componentes entre el más pequeño y el más grande, en términos de fracción de tamaño, se dice que el agregado tiene un tamaño de partícula continuo. Por otro lado, si la continuidad del tamaño desaparece y faltan algunas partes, se dice que el agregado tiene un tamaño de partícula discontinuo. En la representación gráfica de la curva de tamaño de partícula, la discontinuidad se muestra como una línea horizontal que cubre dimensiones inexistentes.

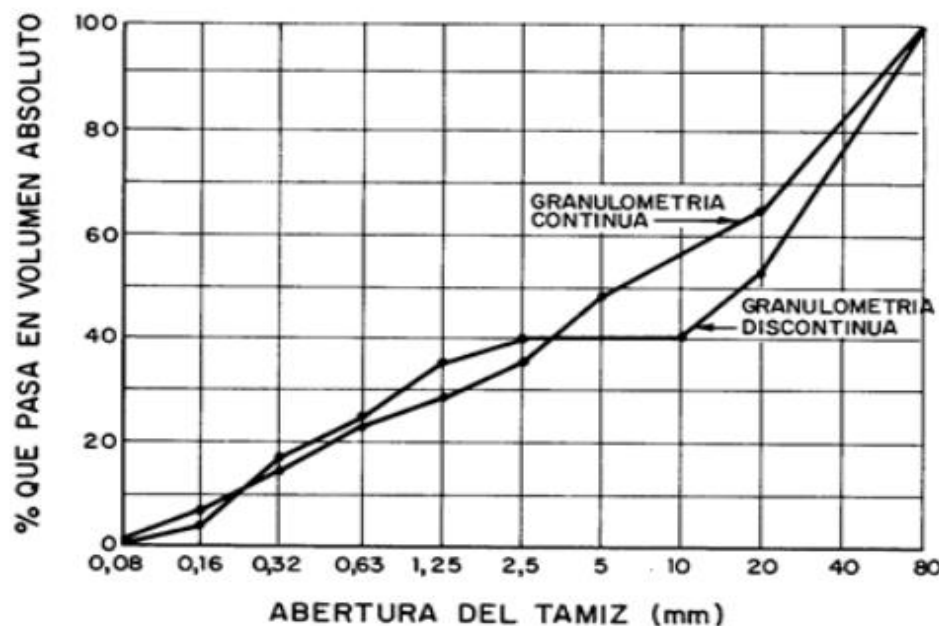


Figura 8. Abertura del Tamiz. Tomada del Departamento de Planeamiento e Ingeniería

Como se puede ver en la imagen anterior, no hay partículas con un tamaño entre 2.5 y 10 mm. En este caso, las partículas finas deberán llenar el espacio entre 10 mm y 2.5 mm, lo que resulta en un método de tamaño de partícula más compatible que el método de tamaño de partícula continuo. Sin embargo, estas mezclas tienen más riesgo de segregación. Por lo tanto, estos analizadores de tamaño de partículas se recomiendan solo en mezclas que se compactan por vibración y se pueden controlar de manera efectiva para evitar la segregación.

2.4.7. Cálculo de cubos lanzados en una labor

Cálculo del área en m²

$$A = ((2 \times H) + a) \times L * 0.83$$

Donde:

- “H” es la altura de la labor
- “a” es el ancho de la labor
- “L” es la longitud de labor
- 0,83 es el factor de corrección usado
- Relación m³ y pulgadas
- En 1 m³ de mezcla de concreto se lanza de 10 a 12 m² de área de labor para 2 pulgadas de espesor
- En 1 m³ de mezcla de concreto se lanza de 8 a 10 m² de área de labor para 4 pulgadas de espesor.

2.4.8. Sostenimiento en las minas subterráneas**2.4.8.1 Tipos de sostenimiento**

En la minería subterránea se utilizan varios tipos de soportes para estabilizar el macizo rocoso y continuar la exploración, el desarrollo, la preparación y la minería. Los tipos de apoyo se dividen en: apoyo activo y apoyo pasivo. (5)

A) Sostenimiento activo (refuerzo): se convierte en el refuerzo de la roca, el elemento de soporte es parte del macizo rocoso, se tienen: pernos helicoidales - pernos de anclaje - *Swellex* - *Split set*. (5)

B) Sostenimiento pasivo (soporte): donde los elementos de sostenimiento son externos al macizo rocoso y dependen del movimiento interno de la roca que está en contacto con el perímetro excavado y tenemos: malla - cimbra - cuadros – *shotcrete*. (5)

2.4.9. Aplicación del *shotcrete*

El hormigón neumático se pulveriza sobre la superficie a alta velocidad a través de mangueras y boquillas.

2.4.9.1. Componentes del *shotcrete*

Los materiales utilizados en el hormigón proyectado son básicamente los mismos que los utilizados en el hormigón: arena, cemento, agua, aditivos, fibras

y agregados. La arena para hormigón proyectado debe cumplir con los requisitos de los estándares de agregados, y generalmente deben usarse agregados de 0 a 12 mm. Estos agregados estarán compuestos por partículas limpias, duras, resistentes a la corrosión y de calidad uniforme. (5)

a) El cemento Portland: debe cumplir con sus respectivos requisitos de calidad.

Se utilizará el cemento especificado en el plano o especificación. Si el hormigón proyectado se expone al suelo o al agua subterránea que contiene una alta concentración de sulfato disuelto, se debe utilizar cemento resistente a los sulfatos. Cuando la estructura requiere una alta resistencia rápida, el cemento Portland de fraguado rápido es la primera opción. (5)

b) El agua: para mezclar y curar, debe estar limpio y libre de sustancias nocivas para el hormigón o el acero. Si la apariencia es un factor importante, el agua de curado también debe estar libre de elementos contaminantes. Los límites máximos de cloruro y sulfato son los siguientes: cloruro, expresado como iones: 6000 ppm sulfato, expresado como iones: 1000 p. p. m. En cualquier caso, antes de utilizar cualquier tipo de agua en el lavado, amasado y curado del árido, se deben realizar tantas pruebas como se estimen oportunas. (5)

c) Aditivos: para propósitos especiales y condiciones de colocación, es deseable incluir aditivos en el hormigón proyectado. El uso cuidadoso de aditivos puede producir resultados muy satisfactorios. Sin embargo, algunos aditivos que han tenido éxito en el hormigón no pueden utilizarse en el hormigón proyectado, preferiblemente en forma líquida. (5)

d) Acelerantes: si se requiere un curado rápido o una mayor resistencia inicial, se deben usar aceleradores de curado y materiales impermeables. La cantidad varía del 2% al 7% del peso del cemento. (5)

2.5. Definición de términos básicos

a) Aliva: es una máquina robusta y duradera con métodos de aspersión de mortero o concreto seco y semihúmedo tipo rotor de doble eje, diseño compacto y excelente movilidad que la hacen adecuada para su uso en espacios estrechos como galerías.

- b) Cemento de bajo calor de hidratación:** el cemento Portland origina una cantidad finita de calor en el proceso de solidificación y generalmente se le llama cemento Tipo I.
- c) Concreto lanzado:** es el nombre del hormigón, sus materiales constituyentes son: cemento, áridos, aditivos, agua y elementos de refuerzo, que se aplican de forma neumática y se compactan dinámicamente sobre la superficie a alta velocidad.
- d) Fibra metálica:** son tiras discontinuas de tamaño reducido, un tipo de acero con propiedades especiales. El hormigón disperso con fibras metálicas mejora sus propiedades mecánicas.
- e) Nivel de adherencia:** en estas condiciones, la mezcla de *shotcrete* proyectado golpea la superficie de la roca a alta velocidad y sella las irregularidades, grietas y poros con las partículas más finas.
- f) GSI:** es un índice de resistencia geológica, como complemento al criterio generalizado de rotura de rocas, GSI también estima la reducción de la resistencia de los bloques bajo diferentes condiciones geológicas.
- g) Macizo rocoso:** es una colección de la matriz de roca y sus superficies discontinuas, debido a la naturaleza, frecuencia y dirección de la superficie discontinua, se determina su comportamiento geomecánico e hidráulico, por lo que presenta heterogeneidad, discontinuidad y generalmente anisotropía.
(5)
- h) Mezcla seca:** en este proceso, los componentes de hormigón proyectado secos o ligeramente húmedos se agitan continuamente y se introducen en la tolva. El aire comprimido se introduce a través del tambor o caja de alimentación para transportar el material a la manguera de suministro en un flujo continuo, donde se agrega agua a la mezcla en la boquilla. (5)
- i) Mezcla húmeda:** en este proceso, los componentes del hormigón proyectado se mezclan con agua y luego se envían a una unidad de bomba de desplazamiento positivo. La unidad de bomba luego suministra

hidráulicamente la mezcla a la boquilla y se agrega aire a la boquilla para proyectar el material sobre la superficie de la roca.

- j) **Índice de designación de la calidad de la roca (RQD):** el índice de designación de la calidad de la roca (RQD) proporciona una estimación cuantitativa de la calidad de la masa rocosa de los núcleos de perforación diamantina.
- k) **Porosidad:** es la relación entre volúmenes vacíos (poro) y el volumen total de la muestra se calcula utilizando la siguiente relación porcentual.
- l) **Rebote:** el material de proyección que no se incorpora a la superficie a recubrir cuando se rechaza el material de proyección.
- m) **RMR:** es la clasificación geomecánica de Bieniawski, *Rock Mass Rating*, es un sistema de clasificación geomecánica propuesto por los ingenieros de Bieniawski, que ha sufrido todas las modificaciones para estimar el tiempo de soporte de la obra.
- n) **Shotcrete por vía seca:** es el paso de premezclar todos los componentes de la mezcla de concreto, excepto el agua, se mezcla el agua en la boquilla de salida antes de rociar la mezcla, pero ya no se usa.
- o) **Shotcrete por vía húmeda:** el paso de mezclar todos los ingredientes (incluida el agua) en el concreto; antes de mezclarlos en la manguera, se mezclan y luego se transportan a través de la manguera hasta la boquilla.
- p) **Sostenimiento de soporte:** son elementos de soporte en contacto con la roca, en los que se tienen marcos de madera, rejillas, cinturones de acero (*strops*) y concreto lanzado (*shotcrete*), gatas, relleno y algunas otras técnicas de sostenimiento requerida en labor.
- q) **Sostenimiento de refuerzo:** son elementos de soporte relacionados con varillas de anclaje y están anclados mecánicamente mediante varillas de hierro corrugado o varillas roscadas ancladas con resina, *split set* y *swellex*.
- r) **Sostenimiento en tajos:** en las minas, el papel del soporte y el relleno debe

evaluarse en función de la seguridad y dilución. En el foso donde los encargados deben ingresar a obra.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. 1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

La presente investigación realizada en esta tesis utiliza el método deductivo.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de la investigación

Un punto muy importante es que en el diseño de investigación transaccional no experimental se debe dividir en descriptivo y correlacional, que es el mismo que se usó para la investigación.

- **Descriptivo**, un punto muy importante es que en el diseño de investigación transaccional no experimental se debe dividir en descriptivo y relevante, que es el mismo que se usó para la investigación.

- **Correlacional**, tiene como objetivo medir y describir la relación entre la calidad del macizo rocoso y la estabilidad del tajo de cimentación, lo que dio lugar a las alternativas de control propuestas para los diversos problemas de estabilidad que puedan surgir en la obra.

3.2.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es experimental – correlacional, cuyo objetivo es relacionar variables y hacer la experimentación.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Todas las labores de la unidad minera Casapalca S. A.

3.3.2. Muestra

La muestra es el *By Pass* 759 NW de la unidad minera Casapalca, es ahí donde se realizó toda la investigación y se extrajo todos los datos necesarios para la presente investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas ejecutadas en la recolección de datos

La información recopilada de la investigación geomecánica de la mina Casapalca se utiliza para comparar las hipótesis propuestas y las fuentes bibliográficas (libros, informes en papel, revistas, etc.). Finalmente, aporta observaciones teóricas y conclusiones sobre el tema de investigación.

Se realiza una prueba de resistencia a la compresión para determinar la resistencia de la prueba del hormigón.

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos utilizados en la recolección de datos fueron el cono de Abraham, bandejas de muestras de *shotcrete* entre otros.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso

4.1.1. Caracterización geomecánica del *By Pass* 759 NW

Se registraron datos a través del mapeo geomecánico, mediante este método se realizó mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en las 2 estaciones de medición en interior de mina. (6)

Tabla 7.
Medición 1

Medición 1: techo	
Labor	<i>By Pass</i> de 3.5 x 3m
Tipo de labor	Diario
Fracturamiento	20 fracturas/metro
Resistencia	Se indenta superficialmente
Espaciamiento	0.1
Persistencia	6 m
Apertura	1 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Húmedo
Ajuste por orientación	Regular -5

Tabla 8.
Medición 2

Medición 2: hastiales	
Labor	By Pass de 3.5 x 3m
Tipo de labor	Diaria
Fracturamiento	23 fracturas/metro
Resistencia	Se indenta superficialmente
Espaciamiento	0.1
Persistencia	4 m
Apertura	0.8 mm
Rugosidad	Ligeramente rugosa
Relleno	Suave menor a 5 mm
Intemperización	Muy intemperizada
Agua subterránea	Húmedo
Ajuste por orientación	Regular -5

4.1.2. Análisis y cálculo del RQD

▪ Medición 1: techo

- Se obtuvo 20 f/m, por lo que según la teoría de Palmstrom, el RQD se estima a partir del número de discontinuidades por unidad de longitud, donde J_v es la suma del número de grietas. (6)

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v$$

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 (20)$$

$$\text{RQD} = 115 - 66$$

$$\text{RQD} = 49\%$$

▪ Medición 2: hastiales

- Se obtuvo 23 f/m, por lo que según la teoría de Palmstrom, el RQD es estimado a partir de la cantidad de grietas por una unidad de longitud, donde J_v es la suma del total de roturas o fracturas. (6)

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v$$

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 (23)$$

$$\text{RQD} = 115 - 76$$

$$\text{RQD} = 39\%$$

Tabla 9.
Índice de calidad según Palmstrom

RQD	Calidad de la roca
0-25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Excelente

Nota: estimación según Palmstrom

4.1.3. Cálculo del RMR según la Clasificación Geomecánica de Bieniaswski

Tabla 10.

Cálculo del RMR en la Medición 1

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							VALORACION
		VALOR ESTIMADO							
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	7		
RQD %		90-100 (20)	75-90 (15)	50-75 (11)	25-50 (8)	<25 (3)	8		
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (6)	< 0.06 (5)	8		
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2		
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (2)	> 5 mm (0)	4		
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3		
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	1		
	INTEMPERIZACIÓN	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	2		
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10		
AJUSTE POR ORIENTACIÓN		Muy Favorb. (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)	-5		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							40		
CLASE DE MACIZO ROCOSO							IV-A		
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Tabla 11.
Cálculo del RMR en la Medición 2

PARAMETRO		RANGO DE VALORES								VALORACION	
		VALOR ESTIMADO									
R. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)	7
RQD %		90-100 (20)		75-90 (15)		50-75 (11)		25-50 (8)		<25 (3)	8
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0,6-2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (6)		< 0.06 (5)	6
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		1-3 m Long. (4)		3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)		1 - 5 mm (2)		> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	3
	RELLENOOO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	1
	INTEMPERIZA.	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (3)		Muy Intempe. (2)		Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)		Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	10
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)		Favorable (-2)		Regular (-5)		Desfavorable (-10)		Muy Desfav (-12)	-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6) =											38
CLASE DE MACIZO ROCOSO											IV-A
RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0	
DESCRIPCION		I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA	

Reg.01-ESST01		MINA CASAPALCA			
		SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO			
LABORES MINERAS DE PREPARACIÓN Y DESARROLLO (2.50 a 5.0 m. de Luz)					
(4) TIPO DE SOSTENIMIENTO					
A	SIN SOPORTE O PERNO OCASIONAL. (CONTROL DE BLOQUES INESTABLES)				
B	PERNO SISTEMATICO (1.0 X 1.0 m.)				
B1	PERNO SISTEMATICO. (1.5 X 1.5 m.)				
C	PERNO SISTEMATICO A (1.5 X 1.5 m.) Y MALLA O SHOTCRETE CON FIBRA 2" pulg.				
D	PERNO SISTEMATICO A 1.2 X 1.2 m. (CPO.) 1.0 X 1.0 m. (VETAS) y MALLA O SHOTCRETE CON FIBRA 3" pulg. O CUADRO DE MADERA Exp. 1.2 a 1.4 m. y MARCHAVANTES.				
E	CIMERAS o CUADROS Exp. 0.8 a 1.0 m. SOPORTE PREVENTIVO SBL 2" x 3 O MARCHAVANTES.				
(1) CONDICION ESTRUCTURAL					
	LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (2 A 5 FRACTURAS POR METRO) (RQD 75 - 90%) (RQD = 115 - 3.3 Jn.)	(LF)			
	MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (6 A 11 FRACTURAS POR METRO)	(F)			
	MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (12 A 20 FRACTURAS POR METRO)	(MF)			
	INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO)	(IF)			
(2) CONDICION RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL					
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA O ROMPE CON 04 O MAS GOLPES DE LA PICOTA) (M B)					
BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA) (B)					
REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA) (R)					
MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRICHIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa) (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) O (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) O (ESTRICHIONES) (M)					
MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS (FALLA) (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INHIENTA PROFUNDAMENTE) (SE HACE HUECO) (MM)					
Abaco con relación RMR					
(3) CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO					
95	A	A	A		
90	A	A	B		
85	FVB	FB	FB	B1	
80	A	B	B1	C	
75	MFVR	MFR	MFR	MFV	MFV
70		R	C	D	E
65		IFB	IFR	IFM	IFM
60		C	D	E	E
55					
50					
45					
40					
35					
30					
25					
20					
15					



Figura 9. Cartilla geomecánica GSI. Tomada del Departamento de Geomecánica- compañía minera Casapalca S. A.

4.1.4. Determinación del tipo de sostenimiento según la cartilla geomecánica GSI - Casapalca

a) Medición 1

Tabla 12.

Sostenimiento en la Medición 1

Condiciones	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> Fracturamiento 20 f/m Resistencia: se indenta superficialmente. Factores influyentes: agua subterránea 	<ul style="list-style-type: none"> Paso 1: muy fracturada (MF) Paso 2: mala (M) Paso 3: muy fracturada / mala (MF/M) Paso 4: pernos helicoidales de 7' pies espaciados de 1.2 x 1.2 m + shotcrete de 2" GSI: muy fracturada / mala

En la Medición 1 se registraron 20 fracturas por metro lineal, por lo que la condición de su estructura es **Muy fracturada**, la roca está muy alterada, existe

presencia de discontinuidades abiertas, realizando la prueba de resistencia de la roca, se indenta superficialmente, por lo que la condición superficial es **Mala**.

Según la cartilla geomecánica de Casapalca el tipo de roca es IV-A con un **RMR de 40**, finalmente el sostenimiento recomendado es pernos helicoidales de 7 pies + *shotcrete* de 2 pulgadas. (6)

b) Medición 2

Tabla 13.
Sostenimiento en la Medición 2

Condiciones	Cálculo de GSI
<ul style="list-style-type: none"> • Fracturamiento 23 f/m • Resistencia: se indenta superficialmente • Factores influyentes: agua subterránea 	<ul style="list-style-type: none"> • Paso 1: muy fracturada (MF) • Paso 2: mala (M) • Paso 3: muy fracturada / mala (MF/M) • Paso 4: pernos helicoidales de 7' pies espaciados de 1.2 x 1.2 m + <i>shotcrete</i> de 2" • GSI: muy fracturada / mala

En la Medición 2 se registraron 23 fracturas por metro lineal, por lo que la condición de su estructura es **Muy fracturada**, la roca está muy alterada, existe presencia de discontinuidades abiertas, realizando la prueba de resistencia de la roca, se indenta superficialmente, por lo que la condición superficial es **Mala**.

Según la cartilla geomecánica de Casapalca el tipo de roca es IV-A con un **RMR de 38**, finalmente el sostenimiento recomendado es pernos helicoidales de 7 pies + *shotcrete* de 2 pulgadas. (6)

4.2. Aplicación del tipo de sostenimiento: *shotcrete* vía seca

Procedimiento en el cual todos los componentes del *shotcrete* son previamente mezclados manual o mecánicamente a excepción del agua que a su vez es incorporado en la boquilla de salida antes del lanzamiento de la mezcla.

El transporte de la mezcla sin agua se realiza a través de mangueras especiales de 2" y 3" de diámetro hasta la boquilla. (7)

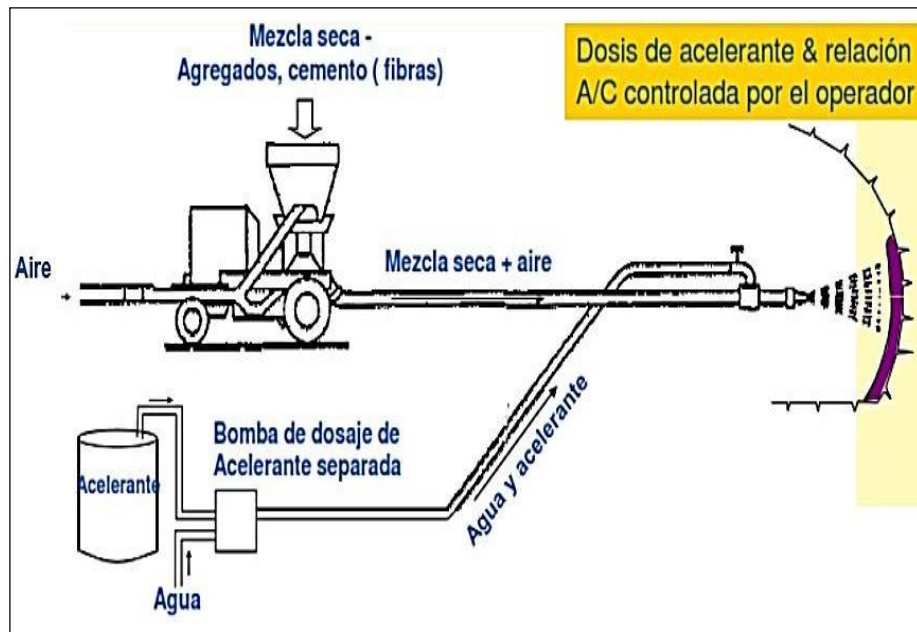


Figura 10. Aplicación de shotcrete vía seca. Tomada del Manual de shotcrete

El método de *shotcrete* por La ruta seca generará mucho polvo en el ambiente, poniendo en riesgo la salud del operador. La proyección manual del operador tiene requisitos muy altos en el cuerpo, porque la calidad del tratamiento superficial no se puede concentrar al 100%. Las alivas son especiales para lanzar *shotcrete* vía seca, con una capacidad de 5 m³ / guardia de 12 horas, para rocas IF/MP se usan cuadros de madera, armando un cuadro completo por guardia. (7)

Se utiliza una máquina perforadora de gato para la instalación de pernos de fijación divididos, la eficiencia máxima de cada protector es de 40 pernos.

La efectividad del lanzado de *shotcrete* se logra cuando se toma en cuenta lo siguiente:

- Nivel de adherencia
- Espesor y recubrimiento
- Ductibilidad
- Resistencia a tracción
- Durabilidad
- Resistencia a compresión

4.2.1. Ventajas y desventajas del *shotcrete* vía seca

Tabla 14.

Ventajas y desventajas del *shotcrete* vía seca

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">▪ El equipo es pequeño y puede adaptarse a las limitaciones de espacio físico de la tarea.▪ La boquilla puede controlar la consistencia del agua y la mezcla.▪ Velocidad de proyección 80 a 100 m/s▪ Se transporta a mayor distancia.▪ El <i>shotcrete</i> trabaja rápidamente en zonas con flujo de agua y alcanza buena resistencia.▪ El trabajo puede ser interrumpido sin pérdida de materiales.▪ Equipo adecuado para la proyección manual.▪ No se requiere mucha capacitación a los trabajadores.	<ul style="list-style-type: none">▪ El tiempo de lanzado es más lento.▪ Necesario cuatro trabajadores mínimamente.▪ Mayor polución, necesario EPP adecuados.▪ Baja capacidad de aplicación.▪ No adecuado para labores de 4.0 m x 4.0 m▪ El uso de fibras metálicas largas genera mayor rebote.▪ Alto consumo de aire comprimido.▪ Alto nivel de polvo en el área de trabajo.▪ Se necesita <i>scoop</i> para trasladar materiales de sostenimiento.▪ Alto rebote aproximadamente entre 20 y 40%.▪ El operador está expuesto debajo del área a sostener.▪ La mezcla después de 4 horas pierde su consistencia.

4.2.2. Secuencia del lanzado de *shotcrete* vía seca

Se mezclan el cemento y la arena adecuadamente hasta conseguir una homogeneidad, adicionalmente se agrega la fibra metálica en la siguiente proporción: arena 1 m³, cemento 420 kg, fibra metálica 25 kg.

La mezcla se introduce en un alimentador de la aliva, dicha mezcla pasa al rotor el cual es accionado por el motor de la aliva, luego la mezcla ingresa a la manguera (boa) de 2½". (7)

4.2.3. Control de calidad del *shotcrete*

- **Diseño de mezcla de baja calidad y lento fraguado.** Los efectos son el bajo rendimiento de fortificación, baja resistencia, pobre durabilidad, alto rebote, pobre rendimiento de colocación, mayor polución en el ambiente, mayor costo en el transporte. (7)
- **Diseño de mezcla de alta calidad, rápido fraguado.** Los efectos son el rápido fraguado, mejor adherencia, menor consumo de acelerante, mejor resistencia, alta durabilidad y bajo rebote. (7)

4.2.4. Propiedades del *shotcrete* vía seca

- **Adherencia:** depende de la firmeza y limpieza de la roca. La mezcla golpea el suelo a gran velocidad y sella irregularidades, grietas y poros con la ayuda de partículas finas. (7)
- **Porosidad:** en comparación con el hormigón proyectado tradicional, el hormigón proyectado contiene más agregado fino y más cemento, por lo que la porosidad es menor, la relación agua/cemento es menor y se crean poros bajo las inclusiones de aire que no se comunican entre sí. Durante la operación, la retención de aire crea poros. (7)
- **Resistencia a la tracción:** para determinar la resistencia a la tracción se hizo uso del Método brasileño, componiendo muestras cilíndricas comprimibles de prueba para seleccionar resultados. (7)

$$R_T = \frac{2.P_R}{\pi.l.d}$$

Donde:

- RT: resistencia a la tracción de la roca en kgf/cm²
- PR: fuerza de fractura de la muestra de roca en kgf
- D: diámetro de la muestra de roca (cm)
- L: longitud de la muestra de roca

Se aplicaron 5 ensayos, aplicando, además, una Fuerza de Tensión de 6 MPa, en la ruptura de la muestra se puede verificar el estado de la roca.

Tabla 15. Ensayos de resistencia a la tracción

Código	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción (MPa)
01	5.01	10.07	510.03	6.43
02	5.02	10.06	515.83	6.50
03	5.02	10.03	515.65	6.52
04	5.04	10.05	515.56	6.48
05	5.03	10.04	513.54	6.47
Promedio			514.122	6.48

4.2.5. Requerimiento de la capa de *shotcrete*

Tabla 16.

Requerimiento de la capa de *shotcrete*

Físicos	Mecánicos	Hidráulicos	Químicos
Evite que el aire y la humedad entren por las aberturas y grietas de la roca. Protección contra la meteorización y la erosión del macizo rocoso. Variación de la temperatura circundante a la excavación. (7)	Poseer una resistencia temprana para contrarrestar las tensiones del último tramo excavado. Obtenga el esfuerzo cortante equilibrado para solicitar la fuerza del empuje de la roca. (7)	Cuando el propósito de la excavación es conducir agua, la rugosidad de la pared de trabajo debe reducirse para controlar la pérdida de carga. (7)	Las rocas estarán protegidas del agua corrosiva, el humo y el gas. Evitar que la roca alrededor de la excavación sea inestable debido a la influencia del agua ácida. (7)

Tomada de Evaluación de la aplicación del *shotcrete* (7)

4.2.6. Procesos del *shotcrete*

a) El fraguado: la teoría de la filtración describe el proceso de endurecimiento del hormigón en la etapa inicial. El par de filtración corresponde a la transición del estado plástico al estado sólido. (7)

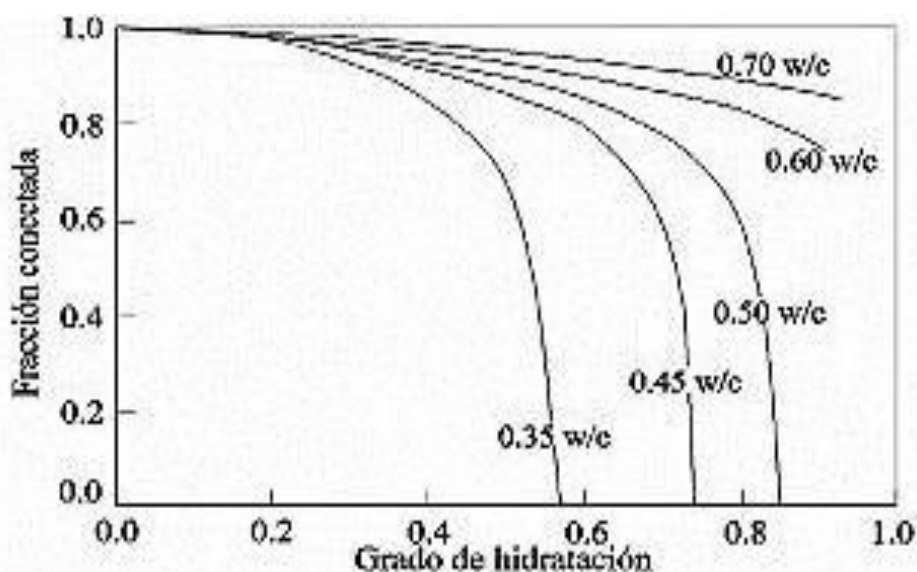


Figura 11. Rango de hidratación de fraguado. Tomada de Scielo: Hidratación

b) Factores que afectan el tiempo de fraguado del hormigón

- **Temperatura / clima:** el incremento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado, la disminución de la temperatura aumenta el tiempo de fraguado, además se debe tener en cuenta que la exposición a la luz y al sol influyen en el fraguado, esto se debe al efecto del calor y el enfriamiento por evaporación. (7)

- **Relación agua - materiales relacionados al cemento:** una relación más baja reduce el tiempo de fraguado, el aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado. (7)
 - **Tipo de cemento:** la composición química del cemento afectará seriamente el tiempo de fraguado.
 - **Aditivos químicos:** los aditivos de acelerador y retardador se utilizan para controlar el tiempo de fraguado, y el uso de ciertos reductores de agua puede afectar el retraso del fraguado. (7)
 - **Tiempo de adición de los aditivos:** la demora en la adición de ciertos agentes reductores de agua puede prevenir la rigidez temprana o la solidificación tardía. (7)
 - **Mezclado:** el mezclado influye en la hidratación mejorando su homogeneidad y la dispersión de los reactivos, asimismo acelera el fraguado. (7)
- c) Calor de hidratación:** el calor de hidratación se genera por la reacción entre el cemento y el agua, dependiendo de la composición química del cemento. La relación agua y cemento, finura del cemento y temperatura de curado son factores que intervienen. Se genera una gran cantidad de calor en los 3 primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas. (7)

Tabla 17.
Cinco tipos de cemento según calor de hidratación

Tipos de cementos	Cemento tipo I		Cemento tipo II		Cemento tipo II - Moderado calor de hidratación	Cemento tipo III		Cemento tipo IV	Cemento tipo V	
N.º de días	7	26	7	28	7 días	7	28	7 días	28	7
N.º de muestras	15	7	16	7	4	2	2	3	1	6
Promedio	349	400	344	396	263	370	406	233	274	310
Máximo	372	444	371	424	283	372	414	251	-	341
Mínimo	320	377	306	372	227	366	397	206	-	257

% del tipo (7 días)	100		99		75	106		67		89

4.2.7. Materiales para el *shotcrete* por vía seca

a) **El Cemento Portland I:** es un aglutinante obtenido por conversión de materias primas compuestas por una mezcla de piedra caliza, arcilla y otros minerales. (7)

b) **El agua:** el agua utilizada debe ser limpia, potable y fresca, ya que si hay impurezas, interferirá con la forja del hormigón y afectará la resistencia y corrosión del macizo rocoso. (7)

c) **Áridos y agregados:** el agregado representa el 75% (volumen) de la mezcla de hormigón proyectado seco y se utiliza para completar el hormigón proyectado, por lo que se deben seleccionar y clasificar los materiales naturales. Cuando la prueba anterior obtiene buenos resultados, se pueden utilizar agregados que no cumplan con el tamaño de partícula. (7)

d) Aditivos

- **Acelerantes:** son aquellos que se aceleran endureciendo la resistencia inicial del *shotcrete*, la cual se clasifica en silicatos (líquido, dosificación del 5 al 8% del peso del cemento). (7)

- **Plastificados:** utilizar agentes reductores de agua para reducir la relación agua / cemento y promover la capacidad de bombeo durante el proceso de pulverización de hormigón proyectado. (7)

e) **Fibras:** la presencia de *dramix* o fibra metálica en el hormigón proyectado puede mejorar sus propiedades mecánicas, reducir su fragilidad y aumentar la ductilidad después del moldeo, aumentar la resistencia a la aparición y propagación de grietas, la resistencia a la tracción y al impacto. El uso más común de fibras metálicas es de 30 a 40 mm de longitud y 0.50 mm de diámetro. El uso de las fibras se justifica porque aumenta la resistencia a la tracción, impiden el desarrollo de las grietas y fisuras producidas por la contracción plástica, reemplazan a las mallas electrosoldadas, disminuye el rebote, mejoran la dureza y la resistencia al impacto. (7)

4.2.8. Clasificación del *shotcrete*

La clasificación del *shotcrete* se encuentra en la guía austríaca (*Sprayed Concrete Guideline*) y muestra las siguientes clases:

- **CLASE J1:** es adecuado para aplicación de capas delgadas, sin requisitos especiales de soporte de carga.
- **CLASE J2:** es adecuado para aplicación de capas gruesas o de sobre cabeza, se requieren frente a operaciones que impliquen soporte de carga inmediata como las perforaciones para instalación de pernos o voladura.
- **CLASE J3:** solo es especificado en circunstancias especiales como ante una fuerte filtración de agua en el terreno a sostener o terreno altamente inestable.

4.3. *Shotcrete* vía húmeda

Es una operación en el cual todos los componentes del *shotcrete* incluyendo el agua son mezclados previamente antes de ser incorporados en la manguera a través de la cual será transportado hasta la boquilla. (7)

4.3.1. Proceso de aplicación del *shotcrete* vía húmeda

El cemento, la arena, el agua y la fibra sintética se mezclan adecuadamente hasta conseguir una perfecta homogeneidad en proporciones variables. Cemento Andino 1, con polvo de sílice agregado al 4% del peso del cemento. La mezcla se carga a los *mixers* los cuales transportan de la planta hasta la labor donde se va a sostener. La mezcla se descarga al tanque Alpha poco a poco, y luego se transfiere a la manguera, y se agrega el acelerador del tanque de 400 litros a la boquilla, si son silicatos y a 5 m si son aluminatos o acelerantes con el objetivo de conseguir resistencias altas y favorecer la disminución del rebote. La mezcla es transportada mediante aire a presión hasta la boquilla, esta boquilla va equipada con un distribuidor de aire para ayudar a la proyección. El *shotcrete* siempre se proyecta desde la boquilla sobre la superficie que debe utilizar dicho elemento. (7)

4.3.2. Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda

Tabla 18.

Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Los operarios no estarán expuestos al área a sostener - Alta producción en proyección 18 metros cúbicos por hora - Bajo costo de aplicación - Baja tasa de rebote, entre 5% y 10% - Mejores condiciones de trabajo (menos polvo) - Muy adecuado para la aplicación de refuerzo de fibra (el uso de fibra no aumentará el rebote) - Muy adecuado para sostener un área grande - Solo dos personas pueden trabajar con el robot - El robot se puede operar en distintas áreas (fácil de transportarse). (7) 	<p>Todos los frentes de trabajo deben ser adecuados para los robots y las mezcladoras.</p> <p>Equipo más caro (robot).</p> <p>La aplicación de equipos mecánicos requiere operadores bien capacitados.</p> <p>Tecnología especializada del concreto usado como <i>shotcrete</i>.</p> <p>Las rutas por la que viajará el dispositivo deben estar en buenas condiciones.</p> <p>La longitud de descarga es limitada. (7)</p>

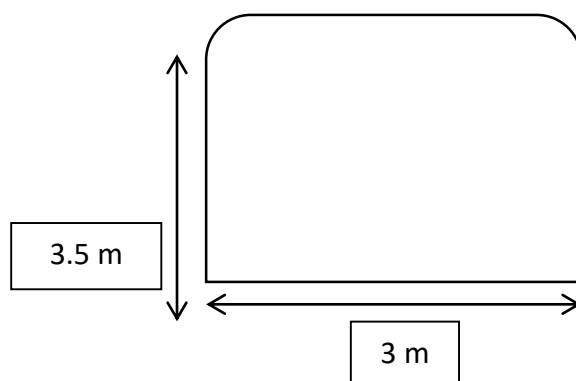
4.3.3. Costos unitarios de sostenimiento con shotcrete de 2"

Tabla 19.

Costos unitarios de sostenimiento

Costos unitarios de sostenimiento		
Tipo de sostenimiento	Costo total (\$)	Unidad
Lanzado de shotcrete 2" – vía seca	317.99	m ³

4.3.4. Cálculo de costos de sostenimiento con shotcrete vía seca en el By Pass 759 NW



❖ **Calculo de perímetro de la labor:**

$$P = 2H - r(4\pi) + A$$

Donde:

- *P*: perímetro
- *H*: altura
- *r*: radio
- *A*: ancho
- π : 3.1416

$$P = 2(3.50) - 1(4 - 3.1416) + 3$$

$$P = 9.1415$$

❖ **Càlculo de volumen de shotcrete via seca**

$$V_{total}: P \times L \times e$$

Donde:

- *P*: perímetro (m)
- *L*: longitud (m)
- *e*: espesor de shotcrete

$$V_{total}: 9.1415 \times 95 \times 0.05$$

$$V_{total}: 43.422125 \text{ m}^3$$

❖ **Los datos de las propiedades físicas para el cálculo de porcentaje de desperdicio (% D) de shotcrete vía seca son:**

Propiedades físicas	Porcentaje	Datos
<i>Rugosidad (Rg)</i>	30%	0.30
<i>Rebote (Rb)</i>	17%	0.17
<i>Cuba (C)</i>	2%	0.02
<i>Compactación (Cp)</i>	3%	0.03

$$\Sigma_{total}: \% Rg + \% Rb + \% C + \% Cp$$

$$52\% = 0.52$$

❖ **Cálculo de volumen de desperdicio en shotcrete via seca**

$$V_{Desperdicio}: V_{total} \times \% D$$

$$V = (43.422125)(0.52)$$

$$V = 22.579505 \text{ m}^3$$

❖ **Cálculo de volumen real en shotcrete vía seca**

$$V \text{ Real: } V_t + D + S$$

- *V_t: volumen total*
- *D: desperdicio cuba*
- *S: shotcrete sacrificio (20%)*

$$V \text{ real : } 43.422125 + 22.579505 + 0.20$$

$$V \text{ real: } 66.20 \text{ m}^3$$

- *Se determina que 66.20 cubos de shotcrete abastecerán a los 95 metros proyectados a sostener.*
- *Con la operación (66.20/95), se determina que 0.70 cubos de shotcrete ingresarán por metro lineal.*

Tabla 20.
Cálculo de costos

Medición	Datos		Unidad
1	Sostenimiento recomendado	Shotcrete de 2"	Pulgadas
	Sección del By Pass	3.5 x 3 m	metros
	Distancia a sostener	95	mL
	Precio unitario de shotcrete	317.99	Dólares (\$) – m ³
Medición	Cálculo de sostenimiento con shotcrete de 2"		
1	Perímetro	$2(3.50) - 1(4 - 3.1416) + 3$	9.1415 m
	Espesor del shotcrete	2"	0.05 m
	Cálculo de volumen total	$(9.1415)(95)(0.05)$	43.422125 m³
	% Rugosidad (Rg)	30%	0.30
	% Rebote (Rb)	17 %	0.17
	Cuba (C)	2 %	0.02
	Compactación (Cp)	3%	0.03
	% Desperdicio (D)	$Rg + Rb + C + Cp = 52\%$	0.52
	Volumen de desperdicio (VD)	$(43.422125)(0.52)$	22.579505 m ³
	Shotcrete sacrificio (S)	20%	0.20
	Volumen Real: $V_t + D + S$	$43.422125 + 22.579505 + 0.20$	66.20 m³
	Volumen por metro lineal	66.20/95	0.70 m³
	21,050 dólares		

	Costo total de sostenimiento con shotcrete vía seca en 95 m	
--	---	--

CAPÍTULO V

RESULTADOS y DISCUSIÓN

5.1. Resultados y análisis de la investigación

El cálculo de diseño mixto de hormigón proyectado seco tiene las siguientes características.

A) Dosificación por metro cubico (m³) de *shotcrete* vía seca

Tabla 21.

Dosificación por m³ de la mezcla de shotcrete

Dosificación por m ³ de <i>shotcrete</i>			
Descripción	Unidad	Cantidad	Observaciones
Cemento	kg	425 kg	Tipo I
Arena (1/4)	kg	1675 kg	Granulometría II
Fibra Metálica	kg	20 kg	Suelta
Aditivo Acelerante	Galones	2.5	Agilizar fragua
Agua	Litros	170	Regulable por operador
Calibradores	Unidades	13	Medidor de espesor de <i>shotcrete</i>

B) Especificación de los materiales

Tabla 22.

Especificación de los materiales

Ítem	Unidad
Cemento Tipo I (10 bls/m ³)	425 kg
Agua (lt/m ³)	170 lt
Aditivo acelerante (gal/m ³)	2.5 gal

Arena m ³	1675 kg
Fibra metálica (kg/m ³)	20 kg

C) Cálculo de materiales para el lanzado de 66 cubos de *shotcrete*

Tabla 23.

Cálculo de materiales para lanzado de 66 cubos de *shotcrete*

Ítem	66 m ³ de <i>shotcrete</i>	Unidades
Cemento Tipo I	660	Bolsas de cemento
Agua (l/m ³)	11,220	Litros
Aditivo acelerante (gal/m ³)	165	Galones
Arena m ³ (densidad de arena = 1600 kg/m ³)	$(1675 / 1600) * 66 = 69.1$	m³
Fibra metálica (kg/m ³)	1320	kg

5.2. Resistencia a la rotura

Para la mezcla de *shotcrete* se hizo uso del cemento Portland tipo I, con una resistencia de 210 kg/cm², a fin de optimizar el lanzado y haya menor probabilidad de rebote.

A) Resistencia a la rotura F_c (kg/cm²)

Tabla 24.

Resistencia a la rotura

Resistencia	Descripción
▪ 140 kg/cm ²	Para mezclas de concreto: 1 bolsa de cemento y 4 carretillas de hormigón.
▪ 175 kg /cm ²	Para mezclas de concreto: 1 bolsa de cemento, 2 carretillas y media de hormigón.
▪ 210 kg/cm²	Para mezclas de concreto: 1 bolsa de cemento, 2 carretillas de hormigón.
▪ 280 kg/cm ²	Para mezclas de concreto: 1 bolsa de cemento, 3 carretillas de hormigón y 4 carretillas de grava.

Tomada del Departamento de Geomecánica- compañía minera Casapalca

B) Relación entre agua y cemento: (a/c) es la relación entre el peso del agua dividido entre el peso del cemento, para trabajos con la aplicación de cemento Portland tipo I.

La relación de agua y cemento (a/c) a emplear para el lanzado de *shotcrete* fue de 0.5.

5.3. Método de ensayo con pistola *Hilti*

a) Método de ensayo con pistola *Hilti* DX 450-SCT

Este procedimiento de ensayo permitió determinar las resistencias a la compresión (en MPa) del *shotcrete in situ*, dentro de las primeras 24 horas.

Se empleó una pistola Hilti, equipo con el que se logra introducir clavos de medidas establecidas por medio de disparos con fulminantes. Distribuidos sobre la superficie del panel muestreado *in situ*.

Para el cálculo de una resistencia a la compresión del *shotcrete* se considera un promedio de 10 disparos. Tomando lecturas de la longitud saliente del clavo - NVS (en milímetros) y la carga de extracción de este con un equipo *Pull-Test* (en kilo newton – kN). El formato *Hilti* da los resultados en Megapascuales (MPa).

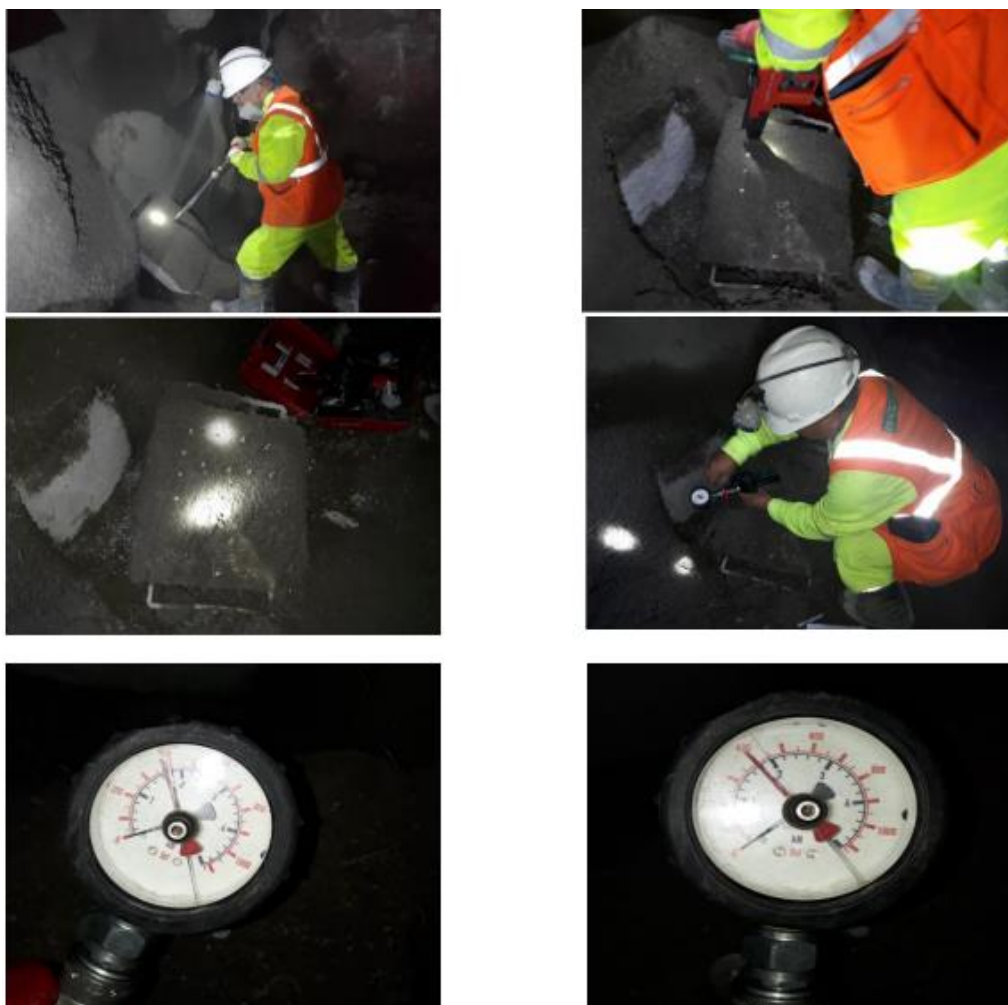


Figura 12. Método de ensayo con pistola Hilti. Tomada del Departamento de Geomecánica – compañía minera Casapalca S. A.

Resultados del ensayo de resistencias iniciales con pistola *Hilti* DX 450 SCT

Tabla 25.
Ensayo de resistencia

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
HORA	Tiempo tras completarse en gunitado ①- t ₀	tipo de perno / Longitud Total L _{tot}	Saliente NVS	Penetración h _{nom} = L _{tot} - NVS	Lectura de la carga de tracción N _u	Carga de tracción real N _u '	N _u ' / h _{nom} ⑦/⑤	Media N _u ' / h _{nom} Σ N _u ' / h _{nom} / 10	Resistencia del Shotcret F'c (MPa)
(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	kN	N	N / mm.	N / mm.	
t ₀ =	0	TODAS LAS MEDICIONES Y CALCULOS ESTAN EN EL MISMO ORDEN DE COLOCACION DE PERNOS							
14:30 p.m.	3.0	103	11	92	1.4	1400	15.2	19.1	2.9
			11	92	1.4	1400	15.2		
			14	89	1.8	1800	20.2		
			19	84	1.7	1700	20.2		
			22	81	1.6	1600	19.8		
			25	78	1.6	1600	20.5		
			18	85	1.7	1700	20.0		
			18	85	2.0	2000	23.5		
			17	86	1.7	1700	19.8		
			20	83	1.4	1400	16.9		
ENSAYO A 3 HORAS									
NOTA: Introducir datos con fuente de color ROJO						Σ =	191.3		

Tomada del Departamento de Geomecánica – compañía minera Casapalca S. A.

5.4. Ensayos y resultados

- La resistencia obtenida en el ensayo de pistola *Hilti* DX 450 realizado fue de **2.9 MPa**.
- El tiempo de ensayo que se obtiene las resistencias de 2.9 MPa con pistola *Hilti* fue a 3 horas.

Observaciones

- El agregado global se observa que presenta poco porcentaje de finos.
- El agregado presenta bastante porcentaje de chatas y alargadas (agregado lajoso).
- No se realiza el control de la mezcla de los materiales ni los pesos de este.
- El *shotcrete* se proyecta a 2 bares de presión.

5.5. Clasificación del *shotcrete*

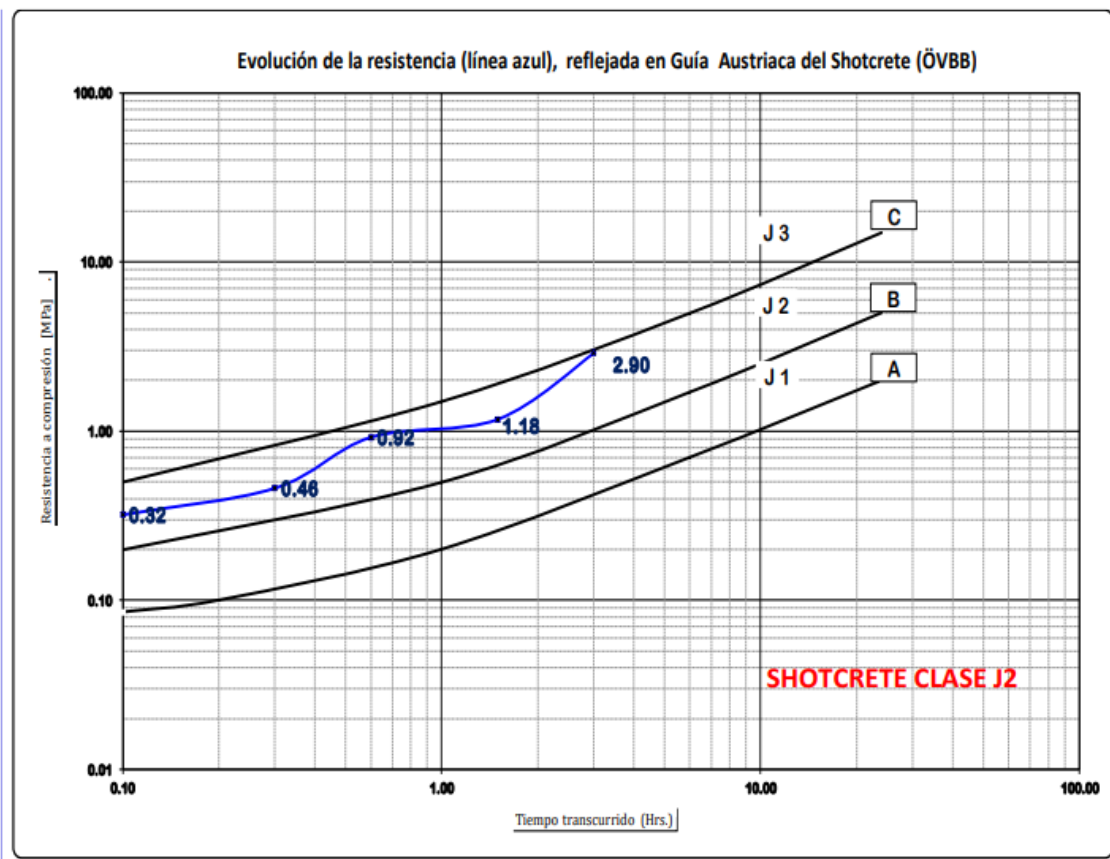


Figura 13. Clasificación del *shotcrete*. Tomada del Departamento de Geomecánica – compañía minera Casapalca S. A.

Según los resultados obtenidos nuestro diseño de *shotcrete* según clasificación de la guía austriaca está en **Clase J2**: es adecuado para aplicación de capas gruesas o de sobrecabeza, se requieren frente a operaciones que impliquen soporte de carga inmediata como las perforaciones para instalación de pernos o voladura.

5.6. Desperdicio de *shotcrete* (efecto rebote)

Al analizar las propiedades físicas del hormigón proyectado, se determinó que el porcentaje de rugosidad fue del 30%, el porcentaje de rebote fue del 17% y el desperdicio del tanque de almacenamiento fue del 2% y finalmente el % de compactación en un 3%, concluyendo un 52% en desperdicio de *shotcrete*.

5.7. Factores para evitar el efecto rebote

- **Buen posicionamiento:** cumplir con el PETS de lanzamiento de *shotcrete* vía seca, donde se determina el buen posicionamiento del operador de *shotcrete*

(de forma perpendicular) y la distancia de 1 a 1.5 metros que debe existir entre la boquilla y la superficie a sostener a fin de lograr una buena compactación y evitar el efecto rebote.

- **Granulometría del agregado:** se debe tomar en cuenta la granulometría del agregado para lograr una mayor efectividad en el lanzado de *shotcrete*.
 - Agregado grueso (mayor rebote)
 - Agregado fino (se chorrea)
 - Lo recomendable es utilizar agregado de ¼.
- **Presión del aire:** es muy importante que el lanzador de *shotcrete* regule la válvula de alimentación de agua y aire, realice una buena lectura del manómetro y se trabaje con 60 bar como mínimo de presión de aire para evitar el efecto rebote.
- **Lavado del área a sostener:** es importante prelavar la zona a sostener con agua a alta presión, porque el propósito de esto es producir una mayor compactación y evitar efectos rebote del *shotcrete*. Finalmente indicar que el proceso de lanzado de *shotcrete* se realiza en forma avanzada y no en retirada.

5.8. Aditivo acelerante de fragua

Se hizo uso del aditivo acelerante de fragua libre de álcalis y hiperplastificante para el concreto proyectado (*shotcrete* vía seca).

Haa MacFree Plus: es un aditivo acelerante de fraguado líquido, libre de álcalis, para ser utilizado en concreto lanzado (*shotcrete*) por vía seca y vía húmeda. La finalidad es conseguir cortos períodos de tiempo para el fraguado inicial y una rápida adherencia a la superficie a cubrir con características mecánicas elevadas.

Tabla 26.

Característica del aditivo Haa MacFree Plus

Estado Físico	Líquido
Color	Beige
Densidad, 20°C	1.43 ± 0.02
Ph	2.5 – 3.2
Contenido de cloruros	< 0.1%

Tomada del Departamento de Geomecánica – compañía minera Casapalca S. A.

5.9. Tiempo de lanzado de *shotcrete*

El tiempo de vertido del hormigón proyectado es importante, a continuación, se detalla en el siguiente cuadro. (7)

Tabla 27.

Prueba de tiempo de vertido de *shotcrete*

Tiempo de lanzado de <i>shotcrete</i>		
Descripción	Tiempo	Unid.
Traslado de materiales al niv. 4663 - <i>By Pass</i> 759 NW	15	min
Traslado de agregado al niv. 4663 - <i>By Pass</i> 759 NW	20	min
Descarga de material al niv. 4663	10	min
Limpieza de labor	6	min
Desatado de rocas sueltas	10	min
Regado de agua en los hastiales y techo niv. 4663 - <i>By Pass</i> 759 NW	10	min
Proceso de mezclado de <i>shotcrete</i> vía seca	40	min
Instalación de aliva para el lanzado.	6	min
Lanzado de <i>shotcrete</i> vía seca niv. 4663 - <i>By Pass</i> 759 NW	145	min
Total de tiempo de lanzado	262	min
Total de horas efectivas	185	min
Total de horas	4	h
Total demoras operativas	77	min

5.10. Costos de lanzado de *shotcrete*

Tabla 28.

Costo de materiales mixtos

Materiales	Cantidad	Unidad	P. U. (S/)	Total S/
Cemento Tipo I	10	bolsa	22.5	225
Arena	1	m ³	107.2	107.2
Aditivo	2	gal	80	160
Fibra metálica	4	kg	7.87	31.48
TOTAL				523.68

Tabla 29.
Precio unitario de lanzado de shotcrete 2"

LANZADO DE SHOTCRETE 2"					
DATOS: INCLUYE MATERIALES					1gda
Mano de obra					Cambio a \$
					3.22
Descripción					Costo Unit del recurso
Maestro shotcretero					S/. 68.20
Ayudante Shotcretero					S/. 64.70
Bodeguero					S/. 64.70
Servicios					S/. 64.70
Total					S/. 456.40
Maquinas					
Descripción		Vida útil	Consumo por guardia	Costo Unit	Costo Real
Aliva 252		S/. 4,320.00	5.0 m3	S/. 20.25	S/. 101.25
Materiales					
Acelerante de fragua			10 gl	S/. 80.00	S/. 800.00
Cemento tipo I			50 bls	S/. 22.50	S/. 1,125.00
Arena gruesa de 1/2 para shotcrete			5m3	S/. 107.20	S/. 536.00
Fibra metálica			20 kg	S/. 7.87	S/. 157.40
Herramientas					
Manguera de jebe y lona de 1/2", 50m			50 mt	S/. 3.00	S/. 3.00
Manguera de jebe y lona de 1", 50m			50 mt	S/. 5.00	S/. 5.00
Abrazadera de fierro galvanizado de 1/2 "con dos pernos			4	S/. 0.30	S/. 1.20
Abrazadera de fierro galvanizado de 1" con dos pernos			4	S/. 0.30	S/. 1.20
Letrero Acrílico			1	S/. 15.00	S/. 15.00
				Gasto general de materiales	S/. 261.42
				Costo total/Gdia	S/. 3,201.45
				Costo total/Gdia	\$ 994.24
				Costo por m3	S/. 1,023.93
				Costo por m3	\$ 317.99

5.11. Prueba de hipótesis

5.11.1. Validación de la hipótesis 1

- La aplicación del *shotcrete* vía seca influye significativamente como aguante y prevención de caídas de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay,

compañía minera Casapalca con la finalidad de brindar condiciones para un trabajo seguro.

5.11.2. Validación de la hipótesis 2

- Los análisis de las propiedades físicas influyen positivamente en la efectividad del lanzado de *shotcrete* vía seca como aguante y prevención para caída de rocas en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca.

5.11.3. Validación de la hipótesis 3

- La determinación de los costos unitarios de sostenimiento en el *By Pass* 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca, es factible y viable, y se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 30.
Costos de sostenimiento

Medición	Cálculo de sostenimiento con <i>shotcrete</i> de 2"		
1	<i>Perímetro</i>	$2(3.50)-1(4-3.1416) + 3$	9.1415 m
	<i>Espesor del shotcrete</i>	2"	0.05 m
	<i>Cálculo de volumen total</i>	$(9.1415)(95)(0.05)$	43.422125 m³
	<i>% Rugosidad (Rg)</i>	30%	0.30
	<i>% Rebote (Rb)</i>	17%	0.17
	<i>Cuba (C)</i>	2%	0.02
	<i>Compactación (Cp)</i>	3%	0.03
	<i>% Desperdicio (D)</i>	$Rg+Rb+C+Cp = 52\%$	0.52
	<i>Volumen de desperdicio(VD)</i>	$(43.422125)(0.52)$	22.579505 m ³
	<i>Shotcrete sacrificio (S)</i>	20%	0.20
	<i>Volumen real: Vt+D+S</i>	$43.422125+22.579505+0.20$	66.20 m³
	<i>Volumen por metro lineal</i>	$66.20/95$	0.70 m³
	<i>Costo total de Sostenimiento.</i>	21,050 dólares	

5.12. Discusión de resultados

- Según resultados obtenidos el diseño de *shotcrete* según clasificación de la guía austriaca está en **CLASE J2**: es adecuado para aplicación de capas gruesas o de sobrecabeza, se requiere frente a operaciones que impliquen soporte de carga inmediata como las perforaciones para instalación de pernos o voladura.

- Con el diseño inicial que se viene trabajando, se realizaron las pruebas y los resultados son: A las 3 horas se obtuvo 2.9 MPa de resistencia del *shotcrete*. Donde podría ingresar el equipo Jumbo a realizar la perforación con normalidad además de apreciar en campo que el aditivo utilizado tiene un buen desempeño.
- Para trabajos de lanzado de *shotcrete* se hizo uso del aditivo hiperplastificante de alta performance, que reduce su relación agua / cemento a 0.5 (A/C) y el acelerante de fragua (libre de álcalis). Esto hace que se pueda obtener buenos resultados en resistencias tempranas. Permitiendo así, el inicio de las perforaciones al sustrato sin perjudicar la estabilidad del terreno sostenido.
- Los resultados obtenidos han sido favorables para el soporte y prevención de la caída de rocas, un problema muy común dentro de la unidad minera Americana, asimismo se busca optimizar los procedimientos de almacenamiento, preparación, transporte y aplicación del *shotcrete*.
- La aplicación del *shotcrete* vía seca en la compañía minera Casapalca se ejecuta según el tipo de macizo rocoso. La diferencia de rendimiento entre el hormigón fresco y el hormigón endurecido es particularmente notable en el caso del *shotcrete*. Este hecho reduce la calidad del hormigón proyectado fabricado por el método húmedo, a diferencia del método por vía seca, que este se mantiene por más tiempo de fraguado.

CONCLUSIONES

De acuerdo al desarrollo de la presente investigación se concluye que:

- a) Según lo analizado y en base a los resultados obtenidos, la aplicación del *shotcrete* vía seca actúa como soporte y prevención de caída de rocas en el *By Pass 759 NW*, logrando una mejor producción de alta calidad y durabilidad, en el cual el agua necesaria para la hidratación del cemento es agregada en la boquilla y, para reducir el rebote de una manera efectiva, se hizo uso de aditivos acelerantes de fragua libre de álcalis e hiperplastificante **Haa MacFree Plus**, con el objetivo de conseguir cortos períodos de tiempo de fraguado inicial y una rápida adherencia a la superficie a cubrir.

Dentro de la compañía minera Casapalca, actualmente, se busca reducir todo tipo de costos y el *shotcrete* vía seca representa una excelente alternativa en sostenimiento ya que representa costos operativos relativamente bajos.

- b) Para el cálculo y análisis de la resistencia a la compresión del *shotcrete* se considera un promedio de 10 disparos. Tomando lecturas de la longitud saliente del clavo - NVS (en milímetros) y la carga de extracción de este con un equipo *Pull-Test* (kN). La resistencia obtenida en el ensayo de pistola Hilti DX 450 realizado fue de 2.9 MPa, por un periodo de 3 horas.

Para el cálculo del porcentaje de desperdicio (%D) en el lanzado de *shotcrete* vía seca, se tomó en cuenta el análisis de las propiedades físicas tales como el % de Rugosidad, % Rebote, % Desperdicio de cuba y % de compactación con el objetivo de determinar el volumen real de *shotcrete* para el lanzado en 95 metros lineales, tomando en cuenta el *shotcrete* con un sacrificio de 20%.

El análisis de las propiedades físicas contribuye en la efectividad del lanzado de *shotcrete* como soporte y prevención de caída de rocas, logrando

disminuir el efecto rebote, finalmente se concluye que se lanzará 66.20 m³ en 95 metros lineales del *By Pass* 759 NW.

Medición	Cálculo de sostenimiento con <i>shotcrete</i> de 2"		
1	<i>Perímetro</i>	$2(3.50)-1(4-3.1416) + 3$	9.1415 m
	<i>Espesor del shotcrete</i>	2"	0.05 m
	<i>Cálculo de volumen total</i>	$(9.1415)(95)(0.05)$	43.422125 m³
	<i>% Rugosidad (Rg)</i>	30%	0.30
	<i>% Rebote (Rb)</i>	17 %	0.17
	<i>Cuba (C)</i>	2 %	0.02
	<i>Compactación (Cp)</i>	3%	0.03
	<i>% desperdicio (D)</i>	$Rg+Rb+C+Cp = 52\%$	0.52
	<i>Volumen de desperdicio(VD)</i>	$(43.422125)(0.52)$	22.579505 m ³
	<i>Shotcrete sacrificio (S)</i>	20%	0.20
	<i>Volumen real: Vt+D+S</i>	$43.422125+22.579505+0.20$	66.20 m³
	<i>Volumen por metro lineal</i>	66.20/95	0.703

c) La determinación de costos unitarios de sostenimiento con *shotcrete* por vía seca fue factible y viable, se realizaron los cálculos de sostenimiento en función a 95 metros lineales, lo que representa el lanzado de 66.20 m³ de *shotcrete*, 0.70 m³ por metro lineal, costando un total de \$ 21,050 dólares, de acuerdo a la realidad de la mina es más rentable continuar con la aplicación de *shotcrete* vía seca ya que tiene un costo accesible.

En la actualidad existe baja producción de mineral el cual representa grandes pérdidas económicas para la empresa, a la fecha se producen 3200 t/día de mineral, donde normalmente se producía 5000 t/día, por lo que la empresa está buscando reducir sus costos operativos de toda forma debido a la baja producción de mineral, por ello, lo más rentable en estos momentos es la aplicación de *shotcrete* por vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en las labores mineras de operación.

RECOMENDACIONES

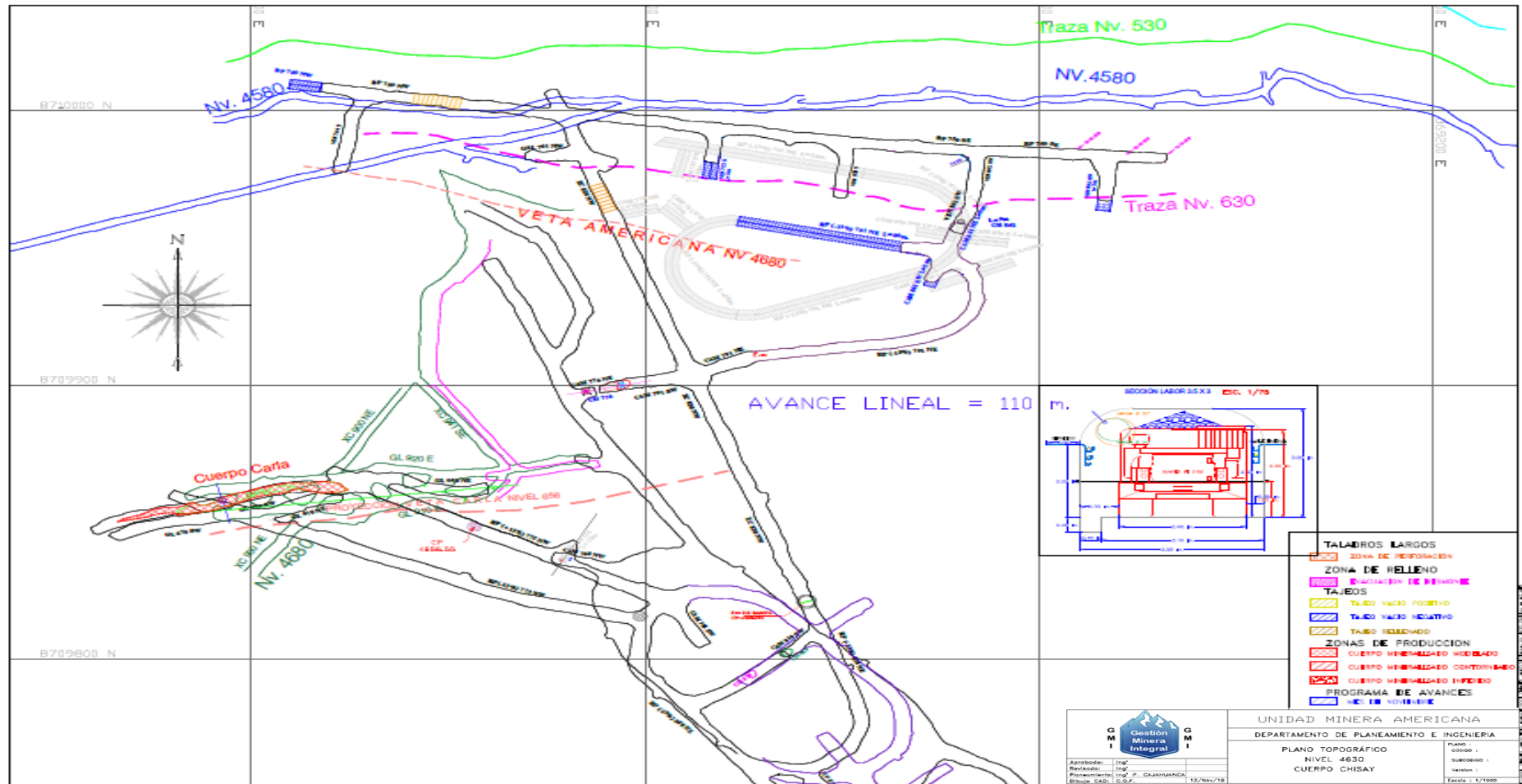
- a. Se recomienda continuar utilizando hormigón proyectado seco como soporte y evitar el colapso de la roca de la compañía minera Casapalca S. A., porque la roca es más adecuada para las necesidades mineras de la empresa debido a factores económicos en sus operaciones. También se recomienda usar solo acelerador de curado libre de álcalis y plastificante *Haa MacFree Plus* para reducir efectivamente la recuperación elástica, lograr un tiempo de curado inicial corto y una rápida adhesión a la superficie del recubrimiento.
- b. Se recomienda evaluar continuamente el desempeño del hormigón proyectado, como rugosidad, rebote, desperdicio del tanque de almacenamiento y el porcentaje de compactación del hormigón proyectado para lograr una menor tasa de rebote. Además, se recomienda trabajar con un 20% de *shotcrete* sacrificio al momento del lanzamiento de *shotcrete* en avanzada, finalmente se recomienda tener un mayor control en los procesos de dosificación de la mezcla de *shotcrete*, lo recomendable es trabajar con 7" de *Slump* para poder obtener una buena velocidad de compactación y menor tiempo de fraguado, alcanzando una efectividad mayor a un 90%.
- c. Se recomienda aumentar la presión del aire en al menos 6 bar, ya que durante el ensayo se observa una presión de 2,5 bar, lo que provocará la caída de la capa de hormigón proyectado y un rebote excesivo por mala adherencia, también, buen control de la temperatura de mezcla (17 a 21 °C) y sedimentación de la mezcla (7 pulgadas).
- d. Dado que las tareas permanentes y temporales (en la fase de profundización y desarrollo) requieren un mantenimiento constante, se recomienda calcular la implementación de la máquina de *shotcrete* para cumplir con todos los requisitos para la operación a largo plazo. Finalmente, debido a la falta de apoyo de la misión y la mayoría de las misiones que necesitan ser reparadas, se recomienda realizar una evaluación geomecánica continua.

REFERENCIAS

1. **LÓPEZ CRUZ, Josué Gualberto.** *Importancia de la aplicación de shotcrete vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en minera Orion.* Universidad Nacional San Agustín. Arequipa - Perú : Tesis de grado, 2014. pág. 93.
2. **SANDOVAL BONILLA, Francis Jean Marco.** *Estudio geomecánico para un óptimo diseño de excavación y sostenimiento en la mina Yauricocha, región Lima.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Cerro de Pasco : Tesis de grado, 2018.
3. **CÓRDOVA ROJAS, Néstor David.** *Geomecánica en el minado subterráneo, caso mina Condestable.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú : Tesis de grado, 2008.
4. **ESPINOZA BUSTILLOS, Juan Carlos.** *Sostenimiento mecanizado en labores mineras, en la compañía de minas Volcan S. A. A. – unidad de producción Andaychagua.* Universidad Nacional del centro del Peru. Huancayo : Tesis de grado, 2011.
5. **MATAMOROS CAMPOS, Jesús Alberto.** *Mejoramiento del sostenimiento con shotcrete de labores permanentes con equipo robotizado en Cuerpo Esperanza - compañía minera Casapalca S. A.* Universidad Nacional del centro del Peru. Huancayo : Tesis de grado, 2019.
6. **QUISPE MATOS, Kenlly.** *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento del túnel Yauricocha del nivel 720.* Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2018.
7. **LEÓN CÓNDOR, Luisín.** *Evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el nivel 6 - xc750w en la unidad Cuerpo Mery - compañía minera Casapalca 2017.* Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2018.

ANEXOS

Anexo 1



Anexo 2

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
<p>Problema General</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la influencia de la aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca como soporte y prevención de caídas de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca? <p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de <i>shotcrete</i> vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca? ¿Será factible determinar los costos unitarios de sostenimiento del <i>shotcrete</i> vía seca en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca? 	<p>Objetivos Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la influencia de la aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca como soporte y prevención de caídas de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca. <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar cómo influye el análisis de las propiedades físicas en la efectividad del lanzado de <i>shotcrete</i> vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca. Determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del <i>shotcrete</i> vía seca en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca 	<p>Hipótesis General</p> <ul style="list-style-type: none"> La aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca influye significativamente como soporte y prevención de caídas de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca. <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> El análisis de las propiedades físicas influye positivamente en la efectividad del lanzado de <i>shotcrete</i> vía seca como soporte y prevención de caída de rocas en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca. Los costos unitarios de sostenimiento del <i>shotcrete</i> vía seca en el <i>By Pass</i> 759 NW, zona Chisay, compañía minera Casapalca son factibles y viables. 	<p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca <p>Variables Dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Soporte y prevención de caída de rocas.


Anexo 3

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	Indicadores
VI <ul style="list-style-type: none"> Aplicación del <i>shotcrete</i> vía seca 	<p>El <i>shotcrete</i> vía seca es la proyección de <i>shotcrete</i> en la cual se premezclan los materiales secos y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua es aplicada en la boquilla. En este método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de adherencia Efecto rebote de lanzado Resistencia a la compresión Tiempo de lanzado de <i>shotcrete</i> 	<ul style="list-style-type: none"> MPa m h/m %
VD <ul style="list-style-type: none"> Soporte y prevención de caída de rocas 	<p>Son diseños de soporte que pueden estabilizar el macizo rocoso controlando el colapso gradual o la deformación de la roca para brindar condiciones de trabajo seguras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Costos operativos Costos directos Costos indirectos 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación geomecánica RQD RMR GSI

Anexo 4

Pets lanzado de *shotcrete* vía seca

 E.C.M. ISAMIN INGENIEROS S.A.C.	Procedimiento escrito de trabajo seguro sostenimiento con <i>shotcrete</i>		UEA Americana
	Área: mina	Versión: 003	
	Código: ISA-MIN-PETS-16	Página: 84 de 3	

1. Personal

1.1.1 maestro lanzador

1.2.1 ayudante lanzador

1.3.1 operador de máquina

1.4.2 ayudantes

2. Equipos de protección personal

2.1. Protector de cabeza (casco) con barbiquejo, anteojos de seguridad de malla, respirador contra polvo, tapón auricular, guantes de jebe, botas de jebe y mameluco con cintas reflectivas. Para el maestro lanzador ropa de jebe completa y *full face*, correa porta lámpara y lámpara a batería.

3. Equipo / herramientas / materiales

3.1. Equipo de lanzado de *shotcrete*, tanque dosificador hidroneumático, manguera (boa), boquilla de proyección, manguera de 1" y ½" para aire/agua, abrazaderas, andamio, reflector, conos de seguridad o cinta de seguridad.

3.2. Juego de barretillas de 6', 8', 10' y 12'; arco de sierra, combo de 6 libras, llave francesa de 12" y 14", cuatro lampas, pico, 1 cizalla, puntas y balde o galonera.

3.3. Arena, cemento, acelerante de fragua, fibra metálica, calibradores, abrazadera y lavaojos portátil.

4. Peligros, riesgos y controles en la actividad:

Peligros	Riesgos	Controles
Roca suelta	Caída de roca	Desatar las rocas sueltas Sostenimiento con <i>shotcrete</i>
Equipo en movimiento	Atropello / atrapamiento	Bloquear y señalizar su área de trabajo
Partes rotatorias móviles	Exposición a partes rotatorias móviles	No retirar las guardas de seguridad
Instalaciones eléctricas	Exposición a energía eléctrica	No manipular los cables si no está autorizado
Insumo químico	Exposición a insumos químicos	Uso adecuado de los implementos de seguridad Manipulación adecuada de sustancias tóxicas
Polvo	Exposición al polvo	Uso de protección respiratoria contra polvo
Ruido	Exposición al ruido	Uso de protección auditiva.
Gases	Exposición a gases	Realizar la ventilación del área
Materiales punzantes	Contacto con elementos punzantes	Uso de los guantes de seguridad y posicionamiento adecuado al manipular los materiales
Manipulación de materiales	Golpes, cortes y lesiones	Trabajo en coordinación y comunicación efectiva

5. Procedimiento

5.1.Orden de trabajo: el personal debe tener la orden clara impartida por el supervisor para el lanzamiento de *shotcrete* en la labor y tener en cuenta también las recomendaciones del área de seguridad y geomecánica.

5.2.Inspeccionar el área: verificación de sección y condiciones del aire, aplicando las herramientas de gestión: ***iperc continuo*** (identificar los peligros, evaluar los riesgos y aplicar los controles), *check list* de labores.

5.3.Verificar máquina lanzadora de *shotcrete*: inspeccionar sus accesorios y el tanque hidroneumático aplicando el *check list* correspondiente.

5.4.instalación del reflector: inspeccionar e instalar el reflector en una zona segura desde donde se pueda obtener una buena iluminación para la visibilidad efectiva del área y colocar los cables sobre los trípodes para mantener secos y ordenados.

5.5.Realizar el desatado de rocas; siguiendo los pasos descritos en el PETS.

5.6.Realizar orden y limpieza: en el área de trabajo así mismo cantonear los hastiales para dar desde la base de la roca firme al soporte de *shotcrete*.

5.7. Uso de andamios o plataformas: utilizar andamios o plataformas en labores con altura mayor a 3.5 m.

5.8. Cortar los pernos helicoidales: que hayan quedado sobresalidos. Si el techo está muy elevado usar elevadores o andamio.

5.9. Limpieza del área a sostener con *shotcrete*: lavar con agua a presión el área a sostener para el mejor impregnado del *shotcrete*.

5.10. Conexiones de agua y aire: instalar la máquina lanzadora de *shotcrete*, el tanque hidroneumático mangueras y boquillas de proyección, verificando y asegurando las conexiones de agua y aire.

5.11. Uso de tela arpillera: realizar la preparación de la mezcla de concreto sobre la tela arpillera para evitar desperdicios y contaminación de los materiales.

5.12. La dosificación por metro cubico será la siguiente:

- Cemento tipo I : 425 kg
- Arena gradación 2 : 1675 kg
- Fibra metálica : 20 kg
- Aditivo acelerante fragua : 2.5 gal
- Agua : 170 l
- Calibradores : 13 und.

5.13. Tanque hidroneumático: primero llenar aditivo, luego echar agua al tanque hidroneumático (no al ras) de acuerdo al diseño de mezcla de concreto luego proceder a cerrar la tapa del tanque y válvula de desfogue asegurándose que estén bien selladas, a continuación proceder a abrir la válvula de aire.

5.14. Uso de calibradores: colocar los calibradores de acuerdo al espesor a lanzar, un calibrador/m².

5.15. Operar el equipo de *shotcrete*, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- a) Verificar todas las instalaciones.
- b) Asegurar las ruedas de la maquina lanzadora de *shotcrete*, nivelando y colocando cuñas.
- c) Abrir las válvulas de aire y agua en forma gradual para comprobar el circuito.

- d) Arrancar la máquina, previa coordinación bajo la dirección del maestro de la labor.
- e) El encargado de operar la máquina debe permanecer al lado de las válvulas y el tablero eléctrico y revisar la lectura de los manómetros en forma constante.
- f) En caso de caída de presión de aire en los manómetros, cerrar la válvula de ingreso de aire y descargar el aire comprimido de todo el circuito de lanzado incluyendo el desfogue del tanque hidroneumático.

5.16. Maniobra del sistema de lanzado

- a) El lanzador debe sujetar la manguera de alimentación del asa del inyector (tobera) con ambas manos, ubicándose en posición adecuada (cazador) de tal forma que mantenga su equilibrio y no se obstaculice con la manguera de alimentación. En el caso de lanzado frontal la manguera de alimentación se ubicará entre las piernas del lanzador.
- b) El lanzador regula la válvula de alimentación del agua y acelerante.
- c) Mantener la dirección de lanzado en forma perpendicular a la superficie de aplicación en los hastiales. En el caso de lanzado del techo de la labor será en forma inclinada.
- d) El lanzado debe hacerse en avanzada, desde la zona segura a la zona inestable, manteniendo una distancia entre la boquilla y la superficie a sostener de 1 a 1.5 m a fin de lograr una buena compactación sobre la roca y evitar el rebote.
- e) La primera capa no debe exceder de 1 pulgada a fin de evitar su desprendimiento por su propio peso, complementando el espesor requerido luego de media hora.

5.17. Obstrucción de la manguera de alimentación: en caso de obstrucción de la manguera de alimentación o inyector (tobera).

- a) Apagar la maquina lanzador de *shotcrete*.
- b) Cerrar la válvula de ingreso de aire y descargar el aire comprimido de todo el circuito de lanzado incluido el desfogue del tanque hidroneumático.
- c) Desempalmar la boquilla de proyección y desatorar por la parte superior con la ayuda de una barretilla.

- d) En caso de la manguera de alimentación (manguera boa).
- Desacoplar la manguera de la máquina para verificar el punto de obstrucción.
 - Ubicar el punto de obstrucción pisando la manguera.
 - Golpear ligeramente con la comba el punto de obstrucción identificado girando la manguera.
 - Levantar la manguera y sacudir para eliminar el material.
 - Realizar nuevamente la instalación de la boa de lance y hacer soplar los restos que puedan haber quedado en la boa.

5.18. En caso de obstrucción de la máquina lanzadora de *shotcrete*

- a) Cerrar la válvula de ingreso de aire.
- b) Apagar la máquina lanzadora de *shotcrete*.
- c) Desempalmar la manguera de alimentación.
- d) Retirar la tolva de carga para desarmar el rotor y proceder a limpiar la obstrucción.
- e) Cuando se presente falla eléctrica o mecánica, solicitar el apoyo del personal de mantenimiento mecánico o eléctrico.

6. Limpieza de la máquina de lanzado de *shotcrete*

- 6.1. Para la limpieza de la manguera de alimentación y boquilla de proyección, mantener el sistema en vacío (sin carga).
- 6.2. Cerrar las válvulas de control de ingreso del aire comprimido luego desfogar las mangueras y el tanque hidroneumático. Así mismo, desenergizar la máquina.
- 6.3. Desarmar la máquina (tolva de carga, base de la tolva de carga, rotor y chaquetas) para su limpieza.
- 6.4. Culminada la limpieza armar la máquina previo engrase de las chaquetas y trasladar la máquina a una zona segura.
- 6.5. Disponer los residuos generados.

7. Restricciones





- 7.1. No realizar el trabajo si no se tiene el personal capacitado para la actividad y con la cuadrilla incompleta.

- 7.2.No realizar el lanzado en labores sin ventilación o con presencia de gases.
- 7.3.No continuar con el lanzado en el caso de desprendimiento de rocas (chispeo).
- 7.4.No realizar el lanzado de concreto si el tanque hidroneumático y la máquina no cuenta con los manómetros operativos y dispositivos de seguridad.
- 7.5.No se debe operar el tanque hidroneumático si no cuenta con la prueba hidrostática vigente.
- 7.6.No retirar la rejilla (malla) en el proceso de lanzado de *shotcrete* ni manipular las válvulas del aire si no se tiene controlada la manguera de alimentación.

8. Resumen de revisiones

Tabla 31. PETS – sostenimiento con shotcrete

Revisión N.º	Fecha	Modificaciones
1	1/7/2016	Se adicionó cuadro de resumen de revisiones.
2	3/8/2016	Se actualizó según el anexo 10 del D. S. 024 – 2016 E. M.
3	19/1/2017	Se realizó la revisión del PETS, donde no se efectuó ningún cambio, por lo tanto se mantiene la versión.
4	22/6/2018	Se realizó la revisión del PETS, en el cual no se efectuó ningún cambio, por lo tanto se mantiene la versión.
5	12/1/2019	Se realizó la revisión del PETS, se mantiene la versión.
6	30/3/2019	Se realizó la revisión del PETS y se mejoró la descripción de cada paso, según el D. S.-024-2016-E. M. y su modificatoria D. S. N.º 023-2017-E. M.
7	20/4/2019	Se realizó la revisión del PETS y se incluyen controles para la variación de presión de aire.
8	2/3/2020	Se realizó la revisión del PETS, en el cual no se efectuó ningún cambio, por lo tanto se mantiene la versión.

Preparado por:	Revisado por:	Revisado por:	Aprobado por:
			
Manuel Esteban Casaño. Supervisor del área	Ing. Juan Ortega Arquíñigo. Jefe de guardia	Ing. Marco Cuadros Salcedo. Ingeniero de seguridad	Ing. Miguel Rivera Huamán. Residente
Fecha: 2/3/2020	Fecha : 7/3/2020	Fecha : 10/3/2020	Fecha : 12/3/2020

Tomada de: Isamin Ingenieros

Anexo 5



Figura 15. Mapeo geomecánico del By Pass 759 NW



Figura 16. Máquina aliva de sostenimiento



Figura 17. Toma de muestra de shotcrete por vía seca



Figura 18. Preparado de muestra en la bandeja



Figura 19. Muestra de shotcrete



Figura 20. Mezcla de arena, cemento y dramix



Figura 21. Sostenimiento del By Pass 759 NW



Figura 22. Método de ensayo con pistola Hilti DX 450



Figura 23. Ensayo con pistola Hilti DX 450

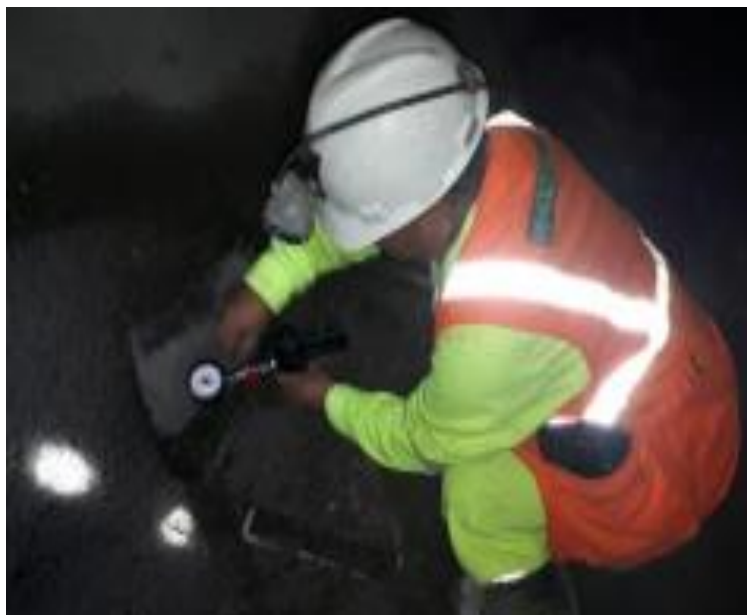


Figura 24. Resistencias a la compresión (en MPa) del shotcrete in situ



Figura 25. Lecturas de la longitud saliente del clavo - NVS (en milímetros) y la carga de extracción de este con un equipo Pull-Test